

CHARLES FROIDEVAUX

MODÈLES DE GESTION
DES MATIÈRES PREMIÈRES
COTÉES EN BOURSE

ÉDITIONS IDES ET CALENDES, NEUCHÂTEL

1973



Digitized by the Internet Archive
in 2026

MODÈLES DE GESTION
DES MATIÈRES PREMIÈRES
COTÉES EN BOURSE

COLLECTION DE TRAVAUX PUBLIÉS PAR LA FACULTÉ DE DROIT ET
DES SCIENCES ÉCONOMIQUES DE L'UNIVERSITÉ DE NEUCHÂTEL

SÉRIE JURIDIQUE

- | | | |
|----|---|----------|
| 1 | Roland Ruedin
LE DROIT RÉEL DE SUPERFICIE | Fr. 30.— |
| 2 | Dominique Favarger
LE RÉGIME MATRIMONIAL DANS LE COMTÉ
DE NEUCHÂTEL DU XV ^e AU XIX ^e SIÈCLE | Fr. 42.— |
| 3 | Jean Guinand
LES CONFLITS DE LOIS EN MATIÈRE DE CAPACITÉ
(étude comparative) | Fr. 24.— |
| 4 | Marc Ancel
UTILITÉ ET MÉTHODES DU DROIT COMPARÉ | Fr. 30.— |
| 5* | Edmond Huysser
THÉORIE ET PRATIQUE DU DUMPING | Fr. 42.— |
| 6 | Mathieu North
LES CONDITIONS DE LA BREVETABILITÉ D'UNE
INVENTION EN DROIT SUISSE ET EN DROIT FRANÇAIS | Fr. 34.— |
| 7 | Bernard Schneider
LE DOMICILE INTERNATIONAL | Fr. 42.— |

SÉRIE ÉCONOMIQUE, POLITIQUE ET SOCIALE

- | | | |
|----|--|----------|
| 1* | Edmond Huysser
THÉORIE ET PRATIQUE DU DUMPING | Fr. 42.— |
| 2 | André-Paul Weber
FONCTIONNEMENT DES MARCHÉS ET
PRATIQUES COMMERCIALES RESTRICTIVES | Fr. 30.— |
| 3 | François Burgat
STRUCTURE DE L'OFFRE HORLOGÈRE MONDIALE
ET FORME DES MARCHÉS | Fr. 40.— |
| 4 | Charles Froidevaux
MODÈLES DE GESTION DES MATIÈRES PREMIÈRES
COTÉES EN BOURSE | Fr. 24.— |

* L'ouvrage de M. Huysser a été publié avant la création de la série économique, politique et sociale.

COLLECTION DE TRAVAUX PUBLIÉS PAR LA FACULTÉ DE DROIT ET
DES SCIENCES ÉCONOMIQUES DE L'UNIVERSITÉ DE NEUCHÂTEL
SÉRIE ÉCONOMIQUE, POLITIQUE ET SOCIALE

MODÈLES DE GESTION DES MATIÈRES PREMIÈRES COTÉES EN BOURSE

PAR

CHARLES FROIDEVAUX

Dr ès sciences économiques



ÉDITIONS IDES ET CALENDES, NEUCHÂTEL 1973

A Christine

Avant-propos

Au moment où cette étude est en voie de publication (juin 1973), une spéculation effrénée sur le cacao provoque une hausse du cours qui risque de battre tous les records. Elle est due en grande partie à la crise monétaire qui secoue le monde depuis deux ans et à la pénurie de matières premières. Par ailleurs, les conditions météorologiques des trois prochaines semaines seront déterminantes pour la récolte attendue en Afrique: s'il pleut pendant toute cette période, la récolte du cacao sera de plus de 100 000 tonnes supérieure à celle obtenue en cas de beau temps. Comme le cours est déjà très élevé, une maigre récolte risque de provoquer une nouvelle hausse du cours, ce qui mettrait certains négociants en difficulté, qui ont déjà actuellement de la peine à honorer leurs engagements. On admettra que cette situation est peu favorable aux entreprises de la branche alimentaire qui utilisent du cacao. En supposant qu'elles disposent actuellement d'un stock de 6 mois de consommation, qu'elles n'achètent pas et que le cours continue d'augmenter pendant une année, elles vont au-devant de pertes considérables. Si elles achètent de grandes quantités et que le cours diminue à la suite d'excellentes récoltes, leurs pertes seront tout aussi élevées; dans les deux cas, leurs prévisions se seront avérées fausses; leurs bénéfices seront par contre très élevés si elles n'achètent et que le cours augmente ou si elles vendent et que le cours baisse.

Actuellement, personne n'est en mesure d'établir une prévision exacte des conditions météorologiques et de l'évolution de la crise monétaire.

Cette situation n'est pas nouvelle; les difficultés que rencontrent ceux qui tentent de prévoir des phénomènes marqués par une composante spéculative, sont bien connues. Dans cette thèse, nous avons essayé de résoudre le problème d'une manière différente en développant un modèle dans lequel aucune prévision à court terme n'est établie, mais où le stock journalier s'adapte au cours du jour.

Les trois premiers chapitres sont consacrés à l'explication du modèle et à sa justification. Dans le chapitre suivant, nous avons comparé les résultats obtenus par une entreprise multinationale et ceux issus d'une simulation dé-

terministe du modèle. Le chapitre cinq contient une analyse statistique de la chronique des cours journaliers du cacao qui nous a permis d'établir une simulation stochastique. La compréhension de ce chapitre nécessite certaines connaissances de la statistique mathématique et, en particulier, de l'analyse des chroniques.

J'aimerais exprimer ici ma plus vive reconnaissance au Professeur Paul Burgat, directeur de thèse, pour ses nombreux conseils et pour le temps qu'il a consacré à suivre constamment l'évolution de mon travail. Cette thèse n'aurait sans doute jamais vu le jour sans l'appui de Messieurs Oscar Sigg et François Béguin, de l'entreprise Interfood SA, que je remercie très chaleureusement. Monsieur Alfred Strohmeier, Professeur-assistant de recherche opérationnelle, a bien voulu accepter le rôle de co-rapporteur de la thèse. Je le remercie, ainsi que Madame Nicole Gollub, pour le soin qu'elle a apporté à la dactylographie du manuscrit.

1. Politique de l'entreprise en matière d'approvisionnement

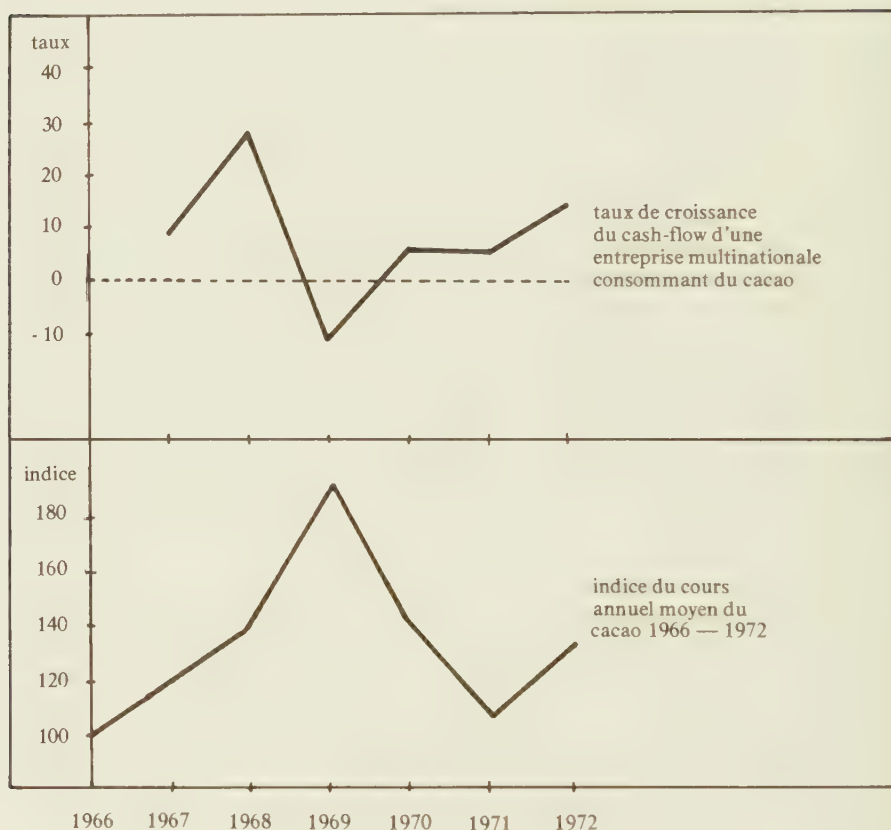
Les entreprises de production qui consomment des matières premières cotées en bourse sont confrontées à des problèmes de gestion de stock dès que la part du prix de la matière première dans le prix de revient total du produit fabriqué prend une certaine importance. Les fluctuations du cours, marquées par une composante spéculative difficile à prévoir, constituent alors un facteur de perturbation dans l'entreprise. Elles provoquent des variations du prix de revient qui se répercutent sur le profit de deux manières différentes. D'une part, en liant les fluctuations du profit aux fluctuations du prix de revient. D'autre part en rendant les prix de revient prévisionnels et les budgets difficiles à établir. L'impact sur le profit de cette deuxième conséquence est moins directe, mais tout aussi néfaste.

La gestion d'un stock de matières premières cotées en bourse est très différente de celle d'un stock de produits finis. Le but de la première est d'effectuer des transactions en bourse de manière à obtenir un coût moyen du stock le plus bas possible. Les variables à prendre en considération sont, par ordre décroissant d'importance, le prix de la matière première, le coût de stockage et le volume de la consommation. Cette classification est justifiée par l'amplitude des fluctuations de prix et l'avenir incertain dans lequel elles se situent (une distribution de probabilités d'apparition des cours ne peut pas être utilisée), alors que le coût de stockage et la consommation sont plus faciles à prévoir (avenir certain ou aléatoire). La décision d'acheter la matière première résulte d'une comparaison entre l'espérance de gain due à l'accroissement du stock et le coût moyen du stockage. Le prix moyen unitaire auquel la matière première a été consommée permet de juger de l'efficacité de la politique appliquée pendant une période déterminée.

Le prix des produits finis n'est pas de nature spéculative. L'amplitude de ses fluctuations n'est donc pas très importante et sa prévision se situe dans un avenir certain ou aléatoire, comme celles de la consommation et du coût de stockage. Il existe plusieurs types de modèles de gestion de stock des produits finis. Leur objectif commun est de minimiser les coûts de stockage

Graphique 1.1

TAUX DE CROISSANCE D'UNE ENTREPRISE COMPARÉ À L'INDICE DU COURS



tout en maintenant un stock qui évite des ruptures de stock trop fréquentes. Il n'est pas possible d'y tenir compte des fluctuations de nature spéculative. Par conséquent, ils sont inapplicables à la gestion des matières cotées en bourse.

Comme nous l'avons vu, la politique d'approvisionnement est conditionnée par deux objectifs essentiels. Le premier consiste à atténuer les fluctuations du

prix de revient dues aux fluctuations du cours. Le second est d'obtenir dans le processus de production, un prix moyen de la consommation le plus bas possible.

Pour atteindre ces objectifs, le responsable des approvisionnements doit faire un choix entre 3 politiques, que l'on peut classer par ordre croissant de risque:

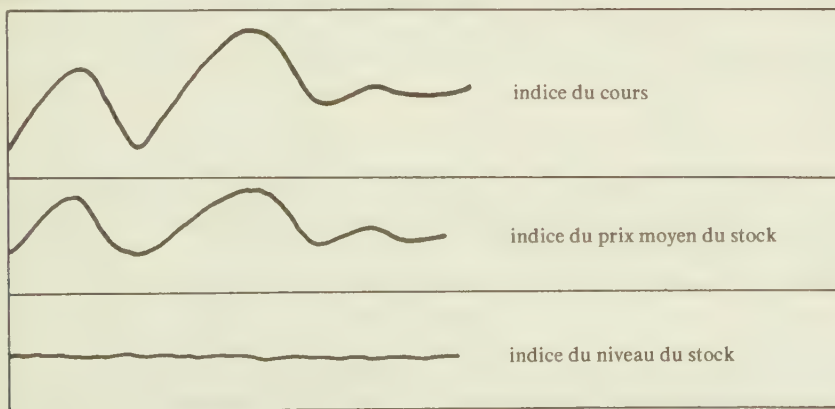
1.1 Modèle de simple renouvellement du stock

Ce modèle diffère peu des modèles de gestion des produits finis, car on n'y tient pas compte des fluctuations du cours. Les matières premières sont achetées au fur et à mesure de leur consommation. Un stock de sécurité est créé pour éviter des ruptures de stock. Le coût de stockage est faible, puisque le stock moyen est peu élevé. Ce modèle a l'avantage d'être simple, mais provoque de fortes fluctuations du prix moyen du stock, car il n'existe pas de stock-tampon permettant de répartir les variations de cours dans le temps.

Le prix moyen unitaire de la consommation correspond à peu près au cours moyen (au coût de stockage près) et le niveau du stock est presque constant (de petites variations sont provoquées par les écarts entre la consommation prévue et la consommation effective).

Graphique 1.2

indices



temps

1.2 Modèle adaptatif

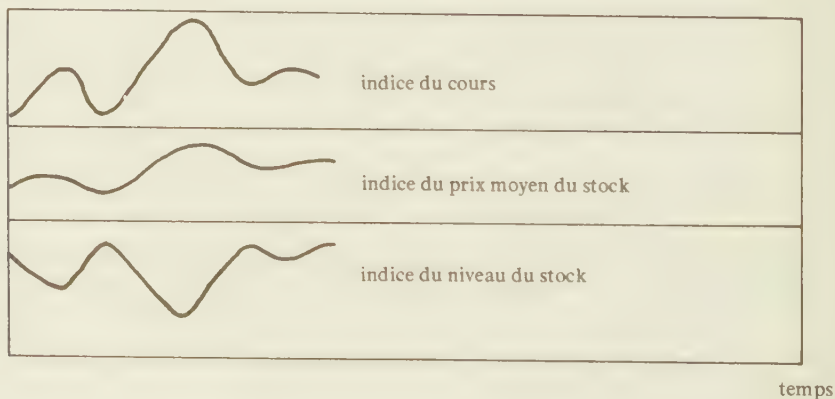
Dans ce modèle, aucune prévision sur les cours n'est établie, mais il existe une relation étroite entre le cours actuel et le niveau du stock. Ce dernier est donc fonction du cours du jour. Lorsque le cours baisse, le stock doit augmenter; lorsque le cours s'élève, le stock est consommé (ou même vendu).

Ici, le coût de stockage est important, car le stock varie constamment et son niveau moyen est élevé. Dans le choix de la fonction liant le stock et le cours, il faut donc prendre en considération l'antagonisme entre l'espérance de gain et le coût de stockage. Si ce dernier est supérieur à l'espérance de gain, le stockage est inutile et provoque des pertes.

L'existence d'un stock important atténue l'influence des fluctuations de cours sur le prix moyen unitaire du stock. Les achats effectués à un cours élevé sont compensés (en partie) par les achats à bas prix et la répartition dans le temps qui en résulte diminue l'amplitude des fluctuations du prix moyen unitaire du stock.

Graphique 1.3

indices



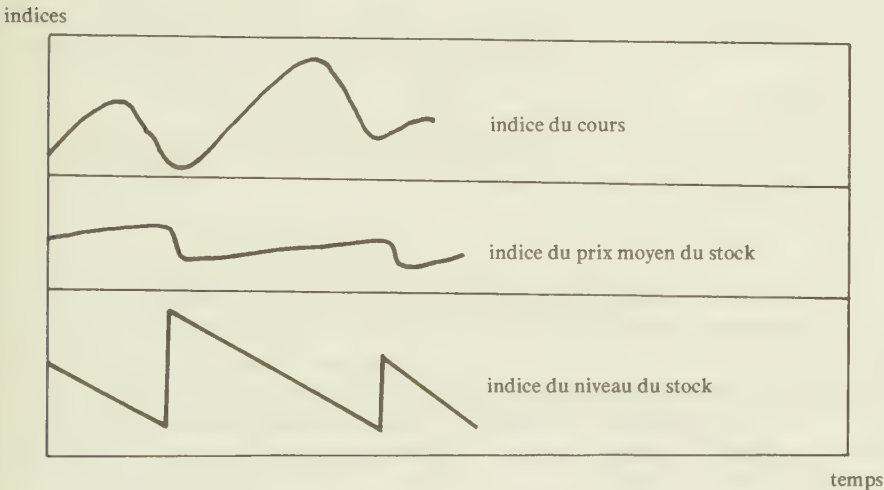
Les risques que l'entreprise prend en choisissant ce modèle sont plus grands que dans le modèle précédent. Son efficacité dépend du choix de la fonction liant le stock et le cours.

1.3 Modèle prévisionnel

Ce modèle est beaucoup plus complexe que les deux précédents, dans la mesure où il fait dépendre le stock d'une prévision de l'évolution du cours. Le stock augmente lorsque le responsable des approvisionnements prévoit que le cours va monter; le stock diminue lorsqu'une baisse du cours est prévue.

Dans le modèle précédent, c'est la baisse du cours qui provoque une augmentation du stock; ici, c'est l'estimation du responsable des approvisionnements.

Graphique 1.4



La détermination anticipée du stock par rapport au cours doit naturellement tenir compte du coût de stockage, qui est important, puisque le stock moyen est élevé. Il est possible d'imaginer une situation où un achat doit être retardé malgré la hausse prévue du cours, pour éviter un coût de stockage supérieur à l'espérance de gain dû au stockage.

Weymar (12) formalise ce raisonnement en écrivant que le producteur accroît son stock jusqu'à ce que l'espérance marginale de gain dû au stockage soit égale au coût marginal total de stockage. Le coût marginal total de stockage (marginal inventory holding cost) est égal au coût marginal de

stockage (storage cost), diminué de deux « gains » marginaux : le gain dû à l'absence de ruptures de stock (stockout yield) et le gain dû à une couverture qui n'est pas trop élevée (coverage yield).

La fonction qui en résulte est appelée « supply of storage function » et peut être négative.

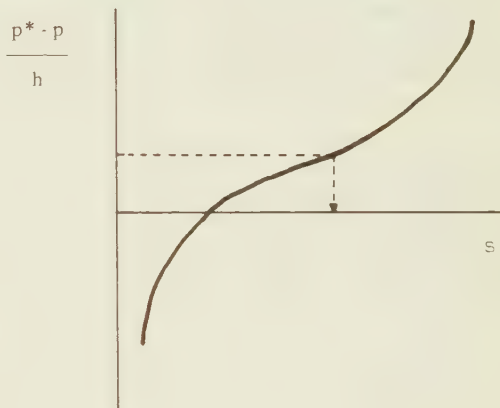
s : volume du stock

p^* : cours prévu

p : cours actuel

h : nombre d'unités de la période séparant le cours prévu du cours actuel.

$$s = f\left(\frac{p^* - p}{h}\right)$$



L'espérance marginale de gain est égale à la différence entre le cours prévu et le cours actuel, divisée par le temps séparant la date de l'un de celle de l'autre. Le stock est déterminé par le point auquel l'espérance marginale de gain égale le coût marginal total de stockage.

C'est évidemment la prévision qui constitue la pierre d'achoppement de tout le système. Il existe plusieurs techniques de prévision qui peuvent être classées en trois catégories :

- a) Les techniques de lissage, telles que le lissage exponentiel, les méthodes Brown-Meyer, les ajustements par des fonctions élémentaires. Appliquées à la prévision de cours, ces méthodes sont peu efficaces car fondées sur l'hypothèse que les cours futurs dépendent de leur évolution dans le passé.
- b) Les techniques dites de prévision qualitative, telles que la méthode Delphi, qui sont basées sur des interviews d'experts. Ce procédé donne des résultats après plusieurs étapes de traitement des interviews, qui consistent à former des distributions d'opinions en vue de dégager et expliciter les opinions qui ne s'inscrivent pas dans le consensus général.

- c) Les méthodes économétriques, dont le but est de formaliser les relations et interrelations entre les différentes composantes d'un phénomène. Les variables choisies sont celles dont la contribution à la variance totale du phénomène est importante. Le modèle est considéré comme efficace si la variance de la variable aléatoire résiduelle est faible. Comme techniques particulières, on peut citer la régression de type «stepwise», les systèmes d'équations simultanées et l'analyse spectrale.

Labys et Granger (7) ont établi une liste des variables parmi les plus importantes, classées selon leur type d'influence sur les cours :

1. Influence par l'intermédiaire de la demande

- a) consommation domestique
- b) exportations
- c) demande de produits finis
- d) stocks gouvernementaux obligatoires
- e) demande de produits de substitution

2. Influence par l'intermédiaire de l'offre

- a) production
- b) stocks
- c) conditions météorologiques
- d) subventions gouvernementales
- e) production de produits de substitution

3. Influences macro-économiques

- a) production industrielle, niveau de l'emploi et indice du coût de la vie
- b) conditions du crédit

4. Structure du marché

- a) spéculation
- b) opérations d'arbitrage.

2. Choix du modèle et contrôle

Le choix entre les 3 types de politique énumérés dans le chapitre précédent dépend d'une évaluation de leur efficacité. Si la prévision de l'évolution du cours est «exacte», c'est-à-dire que les écarts entre prévision et réalisation sont minimes, il est évident que le modèle prévisionnel est le plus efficace, car il permet une anticipation du stock par rapport au cours. Malheureusement, la nature spéculative du marché boursier rend cette prévision difficile.

Il existe plusieurs modèles économétriques de prévision des cours. Parmi ceux-ci, deux nous semblent particulièrement intéressants. Le premier est de Labys et Granger (7), qui ont analysé les relations entre les différences premières des variables énumérées à la fin du chapitre précédent (variables indépendantes) et la variation mensuelle de cours (variable dépendante), pour plusieurs matières premières cotées en bourse. Par analyse cospectrale, ils ont déterminé la cohérence moyenne de toutes les variables indépendantes avec la variable dépendante. Les variables dont la cohérence moyenne avec le cours était supérieure à 0.1 ont été utilisées pour une régression multiple de type «stepwise». L'ordre d'introduction des variables dans la régression dépendait de la valeur du F dans le tableau d'analyse de variance (Test de Fisher). Les coefficients de détermination obtenus varient entre 0.22 et 0.60, ce qui signifie que le pourcentage de variance expliquée par les équations de régression se situe entre 22 et 60%. Ces résultats peuvent être qualifiés de bons, mais ne sont pas utilisables pour la prévision, car les variables indépendantes sont mesurées au même instant que la chronique étudiée.

Pour rendre le modèle apte à la prévision, Labys et Granger ont ensuite décalé de 1 à 12 mois les variables indépendantes par rapport à la variable dépendante. Certaines variables ont dû être éliminées, la contribution de leur variance à la variance totale de la chronique n'étant plus significative. Les résultats obtenus sont moins bons, car le pourcentage de variance expliquée ne varie plus que de 11 à 36 %.

Le deuxième modèle qui nous intéresse est dû à Irwin Shishko (11). Il s'agit d'une prévision annuelle du cours du cacao fondée sur une équation de

régression dans laquelle le cours dépend linéairement du rapport demande-offre, les deux variables étant mesurées en même temps (pas de décalage). L'utilisation de ce modèle en matière de prévision suppose donc une prévision de la demande, des stocks et de la production (offre = stock + production). Même si son coefficient de détermination est élevé (0.88), cette équation de régression est délicate à appliquer, car elle implique quatre erreurs d'estimation: prévision de la demande, des stocks et de la production, plus erreur-type d'estimation due à l'équation de régression. L'exemple cité par Shishko est d'ailleurs significatif: en octobre 1964, le département de l'agriculture des USA prévoit une production mondiale de 1 239 000 tonnes pour 1965. L'équation de régression $p = 44.04 + 103.89 \times (\times : \text{rapport demande-offre})$ indique un cours pour 1965 de 21 cents par livre anglaise*. Situation presque inchangée par rapport à 1964, puisque le cours moyen y est de 22 cents; mais en janvier 1965, les prévisions changent et montent à 1 500 000 tonnes ce qui modifie considérablement le cours prévu à l'aide de l'équation de régression (13 cents au lieu de 21).

Nous avons choisi ces deux exemples, car ils illustrent bien quatre remarques qui nous semblent importantes :

1. La construction d'un modèle économétrique est basée sur un certain nombre d'hypothèses, parmi lesquelles on rencontre le plus souvent l'additivité des variables, leur indépendance et la linéarité. Ces hypothèses sont nécessaires pour des raisons mathématiques, mais il faut souligner qu'elles simplifient par trop la réalité. En outre, pour que le modèle reste valable à l'extérieur de l'intervalle étudié, il est nécessaire que les lois restent stables dans le temps.
2. Les méthodes de régression sont utilisables de deux manières différentes pour la prévision :
 - Si l'équation de régression est purement explicative (les variables indépendantes sont mesurées en même temps que la variable dépendante), la prévision du cours à l'extérieur de l'intervalle analysé nécessite la prévision des valeurs des variables indépendantes. A l'erreur-type d'estimation de l'équation de régression s'ajoutent alors les erreurs de prévision des variables indépendantes.
 - Si l'équation de régression est prévisionnelle, un décalage doit être introduit entre l'époque de la mesure de la variable dépendante et celles des variables indépendantes. La détermination de ce, ou ces

* Shishko n'indique ni le coefficient de détermination, ni l'équation de régression. Nous les avons calculés à partir de ses données.

décalages est délicate et provoque en général un supplément d'erreurs d'estimation et une perte d'information (certaines variables ne peuvent plus être prises en considération).

3. Au vu des remarques précédentes, il n'est pas possible d'affirmer à priori la supériorité du modèle prévisionnel sur les modèles adaptatifs ou de simple renouvellement.
4. L'erreur-type d'estimation, ainsi que l'écart moyen entre prévisions et réalisations ne sont pas des moyens suffisants pour tester l'efficacité d'un modèle prévisionnel. Comme nous l'avons vu au chapitre précédent, un modèle est considéré comme efficace si son application à la gestion des matières premières de l'entreprise permet d'obtenir un prix moyen minimal de la consommation et une faible amplitude des fluctuations du prix moyen du stock. C'est donc l'incidence financière d'un modèle qui détermine son efficacité, et non ses propriétés statistiques. Les deux pourraient être confondus si les répercussions financières des erreurs de prévision variaient linéairement ou proportionnellement avec le montant des erreurs, mais ce n'est à l'évidence pas le cas, ne serait-ce qu'à cause du coût de stockage qui dépend davantage de la valeur du stock que de son volume.

Le prix moyen unitaire du stock et le prix moyen unitaire de la consommation n'expriment pas par eux-mêmes l'adéquation d'un modèle. Pour être en mesure de le valider ou de l'infirmier, ils doivent être comparés aux résultats d'un autre modèle.

Dans cette thèse, l'accent est mis sur la comparaison par simulation entre le modèle de simple renouvellement et le modèle adaptatif. Tel qu'il est construit, le modèle de simulation permettra aussi de tester un modèle prévisionnel.

3. Construction du modèle

Dans le modèle adaptatif, le stock n'est fonction que du cours du jour, de la consommation et du coût de stockage. On n'y tient donc pas compte de l'évolution du cours dans le passé et aucune prévision à court terme n'est établie. Le but du modèle est de gérer un stock-tampon qui s'accroît lorsque le cours baisse et qui est consommé en partie ou totalement, ou même vendu, lorsque le cours augmente.

La fonction liant le stock et le cours est définie selon 3 critères :

- l'intervalle de variation du cours
- l'intervalle de variation du stock
- l'élasticité du stock par rapport au cours à l'intérieur des intervalles.

3.1 Intervalle de variation du cours

Labys et Granger (7) ont montré que les influences physiques, telles que prix des biens de substitution, demande et offre, ont plus d'importance sur les marchés des matières premières que sur les marchés des valeurs mobilières, où les influences spéculatives sont prépondérantes. Ces variables physiques conditionnent dans une certaine mesure l'évolution du cours et l'empêchent de sortir de limites économiquement tolérables. Ce phénomène est facilement compréhensible puisque les matières premières sont consommées dans un processus de production, ce qui n'est pas le cas des valeurs mobilières. Ceci explique le caractère presque stationnaire du trend de la courbe des cours du cacao 1947 — 1969, et facilite la fixation des limites de l'intervalle de variation du cours, qui sont définies comme les bornes des écarts à un point d'équilibre. Dans l'exemple du cacao, sur lequel nous nous sommes penché, elles ont été fixées sur la base d'une interview d'experts: le point d'équilibre représente un

prix théorique du cacao dans une situation économiquement stable, sans circonstances politiques extraordinaires et pour des conditions météorologiques normales. Les écarts maximaux à ce point d'équilibre, au-delà desquels on estime que le cours provoquerait une réaction de l'offre et de la demande suffisante pour inverser la tendance, ont été fixés à -1400 Frs/t et +2500 Frs/t. Cet intervalle représente le 75 % de la différence entre le cours maximal et le cours minimal observés depuis 1947. Il est donc assez grand pour atténuer les effets de modifications structurelles non prévues du marché.

3.2 Intervalle de variation du stock

Le stock maximal est donné par la capacité financière de l'entreprise. Dans le modèle testé qui correspond à la situation d'une entreprise réelle, ce stock maximal a été fixé à 24 mois de la consommation estimée. Le stock minimal dépend du délai de livraison, période séparant la passation de commande de la livraison du stock. Pour le cacao, ce délai est de 3 mois. Le stock minimal correspond donc à 3 mois de consommation estimée.

3.3 Elasticité du stock par rapport au cours à l'intérieur des intervalles

Lorsque l'écart du cours au point d'équilibre est minimal (-1400 Frs/t), le stock doit être maximal. Lorsqu'il est maximal (+2500 Frs/t), le stock doit être minimal (conditions imposées au modèle). Entre ces deux points, le niveau du stock dépend de l'élasticité que l'on désire donner à la fonction. Dans le modèle, le choix s'est porté sur deux fonctions du deuxième degré, valables l'une lorsque l'écart du cours au point d'équilibre est négatif, l'autre lorsqu'il est positif. Le graphique des cours mensuels moyens (3) de la bourse de New York montre que les fluctuations du cours pour la période 1947 — 1969 sont caractérisées par de brèves et très fortes pointes (1947, 1954, 1958, 1969) compensées par des périodes plus longues pendant lesquelles le cours fluctue légèrement au-dessous de la moyenne égale à 32.25 cents/lb (1949, 1950, 1952 — 1953, 1960 — 1964, 1966 — 1967).

Cette caractéristique peut être observée d'une manière plus claire encore sur le graphique de la distribution des écarts du cours à la moyenne pour la même période (graphique 3.1). En effet, les fréquences les plus élevées se trou-

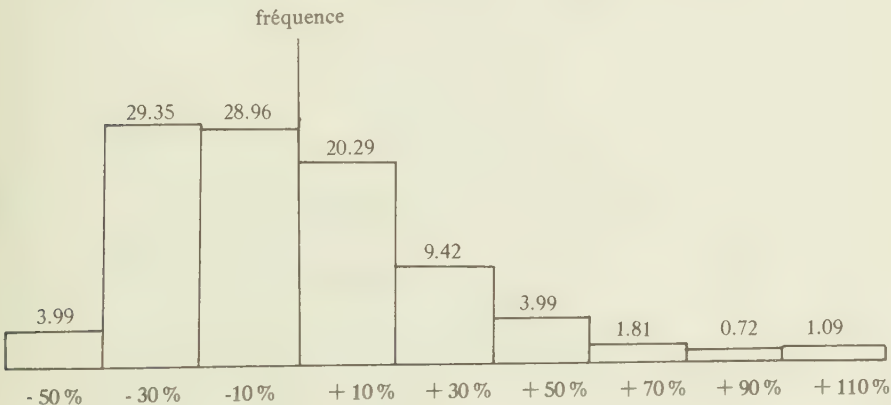
vent à gauche de la moyenne et se distinguent par leur importance. Cette asymétrie, la longue queue à droite et le faible degré d'aplatissement de la distribution nous ont incité à choisir 2 fonctions telles que leur variation marginale du stock (en valeur absolue) soit proportionnelle à l'écart du cours au point d'équilibre. Ainsi, le stock diminue de plus en plus rapidement lorsque l'écart du cours au point d'équilibre augmente (dans la zone au-dessus du point d'équilibre). Inversement, le stock augmente de plus en plus rapidement lorsque l'écart du cours au point d'équilibre diminue (zone au-dessous du point d'équilibre).

Une simulation de la fonction (voir description du modèle au chapitre 4) a montré que le stock au point d'équilibre ne doit pas se situer au centre de l'intervalle de variation du stock (correspondant à 12 mois de consommation), mais au-dessous de ce niveau. Le prix moyen unitaire de la consommation est le plus bas pour un stock au point d'équilibre de 9 mois de consommation. Ceci s'explique par le caractère exceptionnel des fortes baisses au-dessous du point d'équilibre qui sont toutes dues à des prévisions particulièrement optimistes des récoltes.

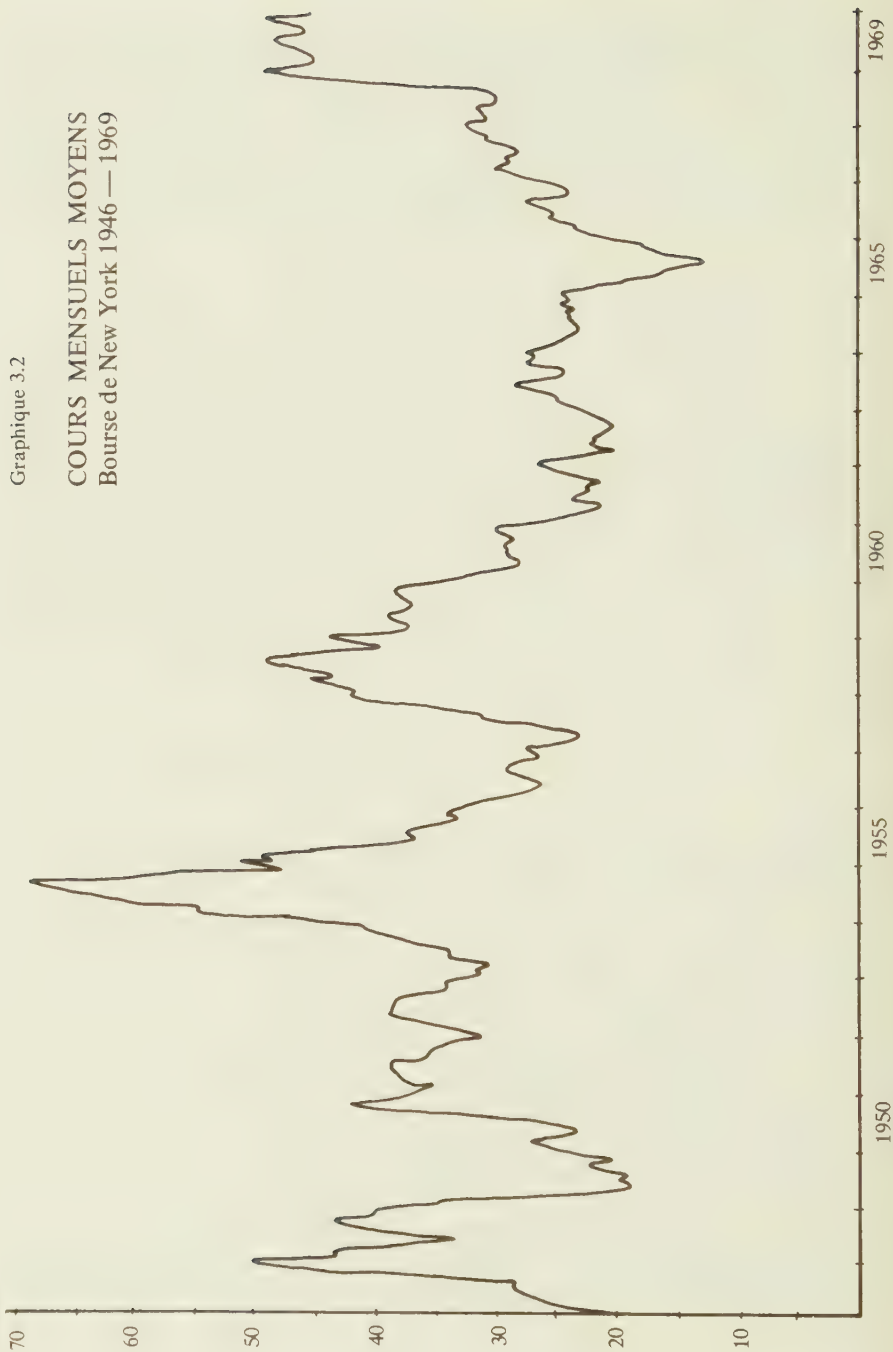
Comme le cours ne peut pas baisser indéfiniment, le stock doit réagir rapidement à une baisse, lorsque le cours se situe en-dessous du point d'équilibre. Avec un stock au point d'équilibre plus bas que le centre de l'intervalle de variation du cours, on augmente l'élasticité du stock par rapport au cours dans la zone en-dessous du point d'équilibre, et on diminue le volume moyen du stock.

Graphique 3.1

DISTRIBUTION DES ÉCARTS DU COURS À LA MOYENNE
1947 — 1969



cours



Graphique 3.2

COURS MENSUELS MOYENS
Bourse de New York 1946 — 1969

Graphique 3.3

Consommation mensuelle de cacao: 345 t

Stock maximal : $24 : 345 = 8280$ t

Stock au point d'équilibre : $9 \cdot 345 = 3105$ t

Stock minimal : $3 \cdot 345 = 1035$ t

$$x = -1400 \quad s = 8280$$

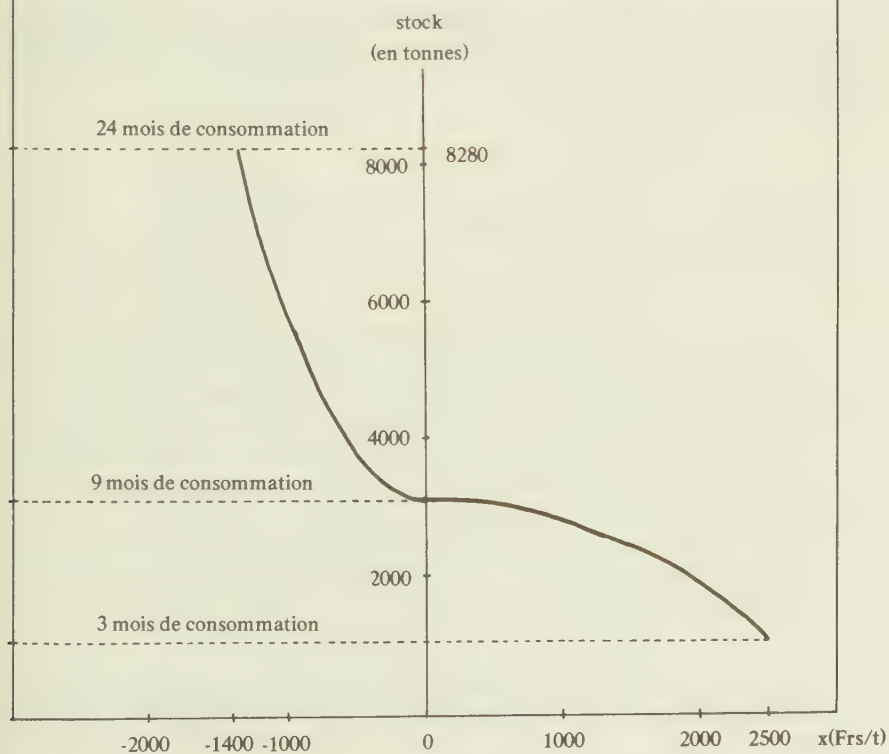
$$x = 0 \quad s = 3105$$

$$s = \frac{5175}{1\,960\,000} x^2 + 3105$$

$$x = 0 \quad s = 3105$$

$$x = 2500 \quad s = 1035$$

$$s = \frac{-2070}{6\,250\,000} x^2 + 3105$$



4. Simulation déterministe* du modèle

Un programme de simulation a été conçu pour comparer différentes stratégies de gestion des stocks de matières premières cotées en bourse, à partir des cours journaliers du cacao à la bourse de New York. Il calcule, pour chaque jour de la période, le volume de vente ou d'achat en bourse (appelé volume de transaction positif ou négatif), le prix de cette transaction, le volume du stock et sa valeur, le coût de stockage, le prix moyen unitaire du stock et le prix moyen unitaire de la consommation cumulée. Le programme est écrit en FORTRAN et comporte environ 500 instructions. Le temps de passage de chaque simulation est d'environ 10 minutes sur un ordinateur IBM 1130.

4.1 Hypothèses relatives au modèle

- On estime que chaque mois a 31 jours, donc l'année 372 jours, pour des raisons de simplification de la programmation et pour ne pas perdre les cours du 31 de certains mois.
- L'entreprise ne ferme jamais ses portes; elle travaille tous les jours. Lors des jours de fermeture de la bourse, aucune transaction n'est effectuée, mais la consommation s'incrémente dans un compteur, ainsi que le coût de stockage.
- La simulation porte sur les cours journaliers de la matière première pour le terme naturel qui suit la cotation. Il s'agit pratiquement du cours des transactions au comptant.

* La simulation déterministe est relative à une chronique historique, au contraire de la simulation stochastique où la chronique est générée à partir d'une distribution de probabilités et de nombres au hasard.

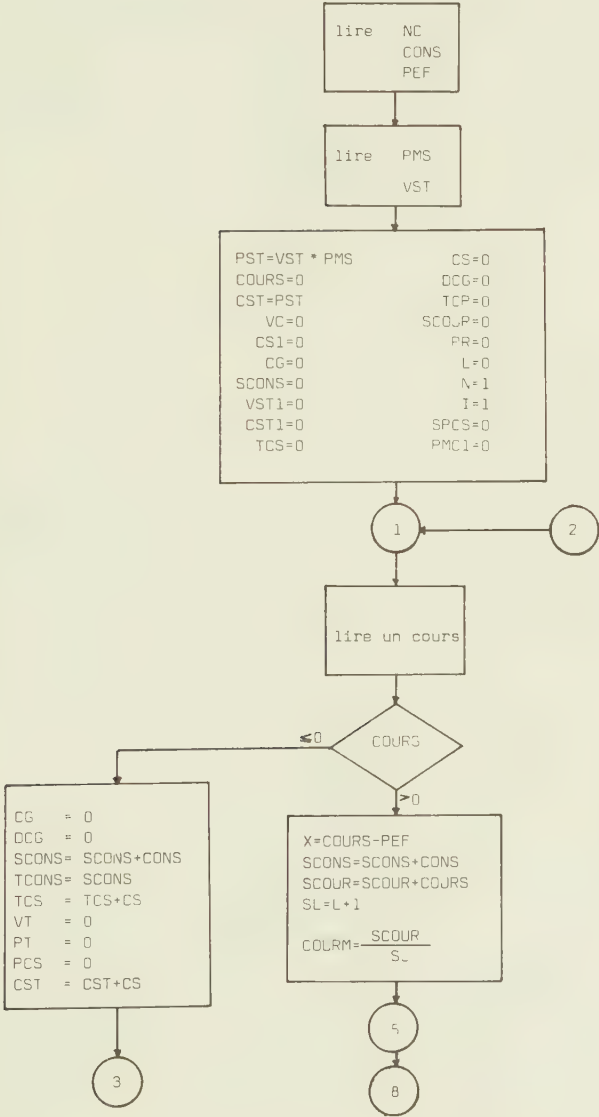
- L'entreprise ne possède jamais en magasin des quantités aussi importantes que celles permises par le modèle. Elle achète à terme pour éviter l'emmagasiner et les inconvénients qui en résultent. Mais le cours à terme est supérieur au cours au comptant (sauf lors de hausses exceptionnelles du cours). Dans le modèle, on estime que la différence représente le coût de stockage et on applique l'estimation de ce dernier à la totalité du volume en stock.

4.2 Liste des symboles (par ordre alphabétique)

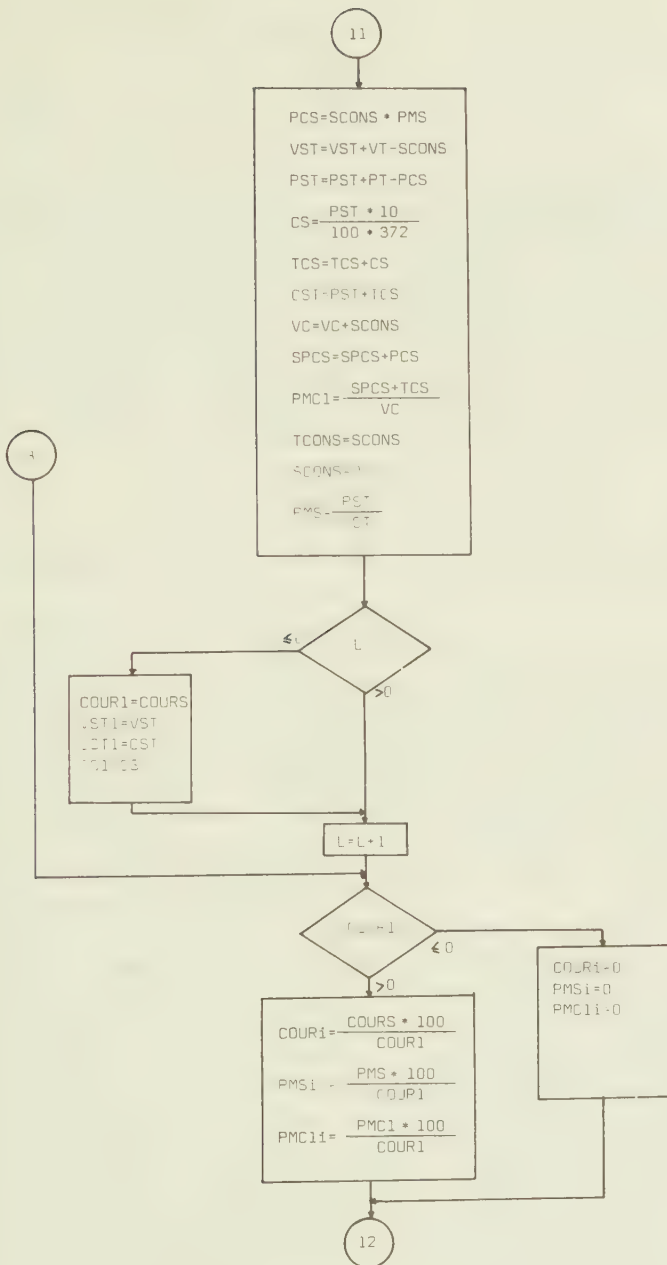
CG	: couverture globale donnée par le modèle
CONS	: consommation journalière
COUR1	: base de l'indice du cours
COURI	: indice du cours
COURM	: cours moyen
COURS	: cours du jour
CS	: coût de stockage
CS1	: base de l'indice du CS
CSI	: indice du CS
CST	: coût du stock
CST1	: base de l'indice du CST
CSTI	: indice du CST
MULT	: nombre de lots de 25 t.
NC	: nombre de cours
PCS	: prix de consommation du stock
PEF	: point d'équilibre (en Frs/t)
PMC1	: prix moyen unitaire (en t) de la consommation cumulée (appelé dorénavant prix moyen de la consommation)
PMC1I	: indice du PMC
PMS	: prix moyen unitaire (en t) du stock (appelé dorénavant prix moyen du stock)
PMSI	: indice du PMS
PR	: point de référence pour le déclenchement du filtre
PST	: prix du stock
PT	: prix de la transaction
SCONS	: consommation cumulée des jours sans cours
SCOUR	: somme des cours
SL	: nombre de cours non nuls

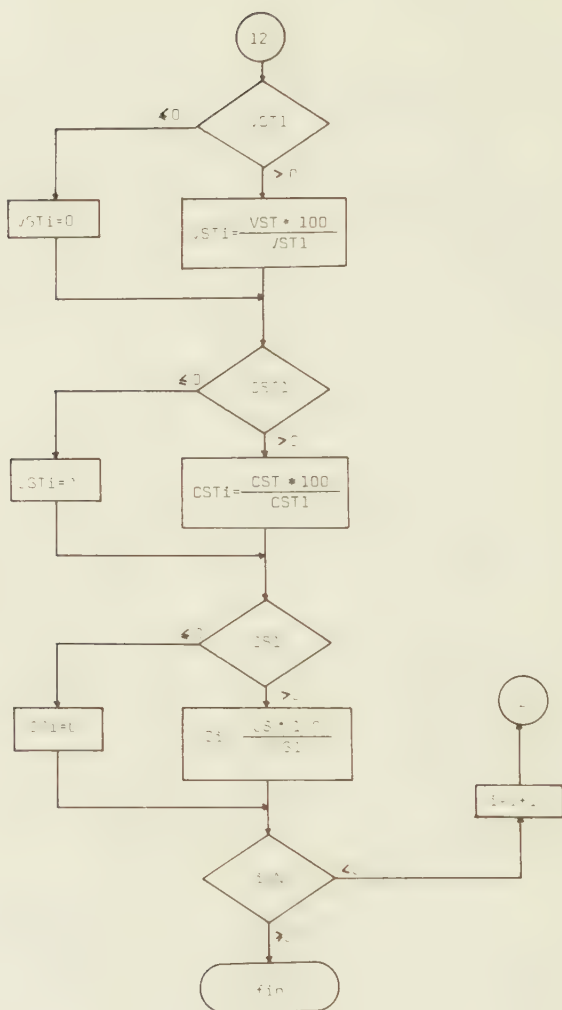
SPCS	: prix cumulé de la consommation
TCS	: coût de stockage cumulé
VC	: volume cumulé de consommation
VST	: volume du stock
VST1	: base de l'indice du VST
VSTI	: indice du VST
VT	: volume de transaction
X	: écart du cours au point d'équilibre

4.3 Organigramme de la simulation
Stratégie achat-vente









4.4 Description de l'organigramme

4.4.1. Données

Le nombre de cours, les cours journaliers, la consommation journalière, le point d'équilibre (en Frs/t), ainsi que le prix moyen du stock (PMS) et le volume du stock (VST) en début de période, sont des données. Si les deux derniers éléments ne sont pas connus, ils doivent être remplacés par des valeurs nulles; le modèle détermine alors le premier stock, à l'aide de la fonction donnant le stock, par rapport à l'écart du cours au point d'équilibre et le valorise (PST) au cours du jour. Si PMS et VST sont connus, le PST est calculé par l'instruction $PST = PMS \cdot VST$. La lecture des données est suivie d'une mise à zéro des variables utilisées dans la simulation.

4.4.2. Calcul du volume et du prix de transaction journaliers

Le programme teste l'existence d'un cours.

Si la bourse est fermée ce jour-là, l'ordinateur lit un cours nul et il est branché sur une partie du programme qui lui indique que le volume de transaction (VT) et par conséquent le prix de cette transaction (PT), la variable DCG (expliquée plus loin), le prix de consommation du stock (PCS) sont nuls; la consommation s'accroît dans un compteur ($SCONS = SCONS + CONS$), ainsi que le coût de stockage (CS), puisque par hypothèse, l'entreprise produit tous les jours; CS s'ajoute au coût du stock. L'instruction $TCONS = SCONS$ permet de garder la valeur de SCONS en mémoire pour l'impression et de faire varier simultanément SCONS.

Si COURS est positif, la machine calcule l'écart (X) du cours au point d'équilibre et ajoute la consommation du jour (CONS) à la consommation cumulée des jours précédents sans cours. Selon le signe de X, le programme utilise l'une ou l'autre des fonctions indiquant le stock (CG : couverture globale). Si X se situe à l'extérieur de son intervalle de variation, le programme impose le stock minimum (1035 t) ou le stock maximum (8280 t) selon le cas.

Le stock «désiré» étant calculé, il est possible de déterminer le volume de cacao à vendre ou à acquérir pour atteindre cette couverture globale; c'est l'instruction $DCG = CG - VST + SCONS$ qui constitue la base de ce calcul: à la différence entre le stock désiré et le volume du stock actuel (VST), on ajoute la consommation cumulée des derniers jours sans cours et du jour envisagé; si la différence entre CG et VST est négative, cela signifie que le cours a augmenté et qu'il faut *vendre* une quantité égale à cette différence

augmentée de la consommation; on ajoute donc *SCONS* à la différence. Si la différence est positive, le cours a baissé; il faut donc *accroître* le stock d'une quantité égale à la différence augmentée de la consommation.

Dans le premier cas, *DCG* est positif ou négatif, dans le second il est positif.

Comme seuls les lots de 25 t peuvent faire l'objet de transactions en bourse, *DCG* est divisé par 25 et le résultat tronqué. 12.5 t sont ajoutées auparavant à *DCG* (soustraites si $DCG < 0$) pour passer à un lot supérieur si le résidu est supérieur à 12.5 t. Si la valeur absolue de *MULT* est supérieure à 1, *MULT* est multiplié par 25 pour déterminer le volume positif ou négatif de transaction en bourse. Le prix de transaction en bourse (*PT*) résulte de la multiplication du volume de transaction par le cours. Si les conditions pour l'achat ou la vente d'un lot ne sont pas remplies, le programme annule les variables *VT* et *PT*.

4.4.3. Calcul du prix moyen du stock et du prix moyen de la consommation

Ces deux indicateurs ont été choisis pour leur complémentarité, en vue de tester l'efficacité des différentes stratégies. Le prix moyen de la consommation (*PMC1*) représente le prix moyen auquel l'entreprise a consommé du cacao pendant toute la période simulée. Il n'est pourtant pas suffisant, car le volume du stock à la fin de la période simulée diffère d'une stratégie à l'autre et peut représenter une valeur importante, selon son montant et son prix moyen.

Le programme teste la valeur de *PMS*. Si le *PMS* est connu en début de période (donnée), *PMS* est toujours positif et l'instruction $PMS = COURS$ n'est pas prise en considération. Si *PMS* n'est pas connu en début de période, la machine lui assigne une valeur nulle et *PMS* reste égal à zéro jusqu'à ce qu'apparaisse un cours positif qui branche le programme sur cette séquence. *PMS* prend donc comme valeur initiale le premier cours non nul de la simulation. Dans tous les passages ultérieurs, *PMS* est positif et l'instruction $PMS = COURS$ n'est plus prise en considération.

L'instruction $PCS = SCONS \cdot PMS$ valorise la consommation au prix moyen du stock. Ce système est jugé supérieur aux systèmes LIFO (last in, first out) et FIFO (first in, first out) dans le cas de la gestion des matières premières spéculatives, car il atténue l'amplitude des variations du prix de la consommation.

Le volume de transaction, diminué de la consommation, s'ajoute au stock pour donner le nouveau niveau de la couverture globale ($VST = VST + VT -$

SCONS). De même, le prix de la transaction, diminué du prix de la consommation, modifie la valeur du stock ($PST = PST + PT - PCS$). Le coût de stockage s'élève à 10 % du prix du stock. Il faut le diviser par 372 pour obtenir le coût de stockage journalier (CS). Ce dernier s'incrémente dans un compteur (TCS) qui fournit le coût total de stockage depuis le début de la simulation. Ajouté au prix du stock, TCS donne le coût total du stock (CST).

Les deux instructions suivantes nous indiquent le total du volume de la consommation depuis le début de la période de simulation ($VC = VC + SCONS$) ainsi que sa valeur ($SPCS = SPCS + PCS$). Il reste à ajouter le coût total de stockage (TCS) au prix total de la consommation (SPCS) et à diviser le tout par le volume total de la consommation (VC) pour trouver le prix moyen de la consommation depuis le début de la période.

Le prix moyen du stock est égal au prix du stock divisé par son volume ($PMS = PST/VST$).

La fonction du compteur SCONS est de mémoriser la consommation des jours sans bourse jusqu'à un jour d'ouverture. Lorsque le jour est atteint, SCONS doit être remis à zéro, mais sa valeur doit être auparavant assignée à un autre compteur ($TCONS = SCONS$), de manière à pouvoir être imprimée à la fin de la boucle.

4.4.4. Transformation des résultats en indices

Les résultats journaliers de la simulation sont présentés graphiquement sous forme d'indices (la présentation chiffrée nécessiterait des mètres de papier). Les bases des indices sont composées des variables suivantes :

- le premier cours de la simulation (COUR1) pour COURS, PMS et PMC1
- le premier volume du stock (VST1) pour VST
- la première valeur du coût du stock (CST1) pour CST
- la première valeur du coût de stockage (CS1) pour CS.

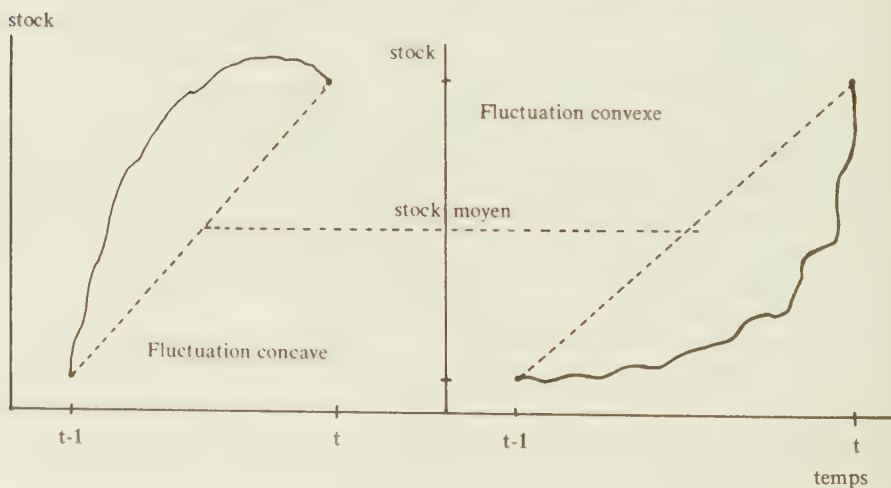
A la fin du programme, 6 sous-programmes (1 par variable-résultat) lisent séquentiellement les indices journaliers sur le disque et représentent leurs valeurs sur un graphique à l'aide d'un traceur de courbe. Ce système permet le dessin d'une même courbe sur différents graphiques.

4.5 Comparaison avec les résultats effectifs d'une entreprise

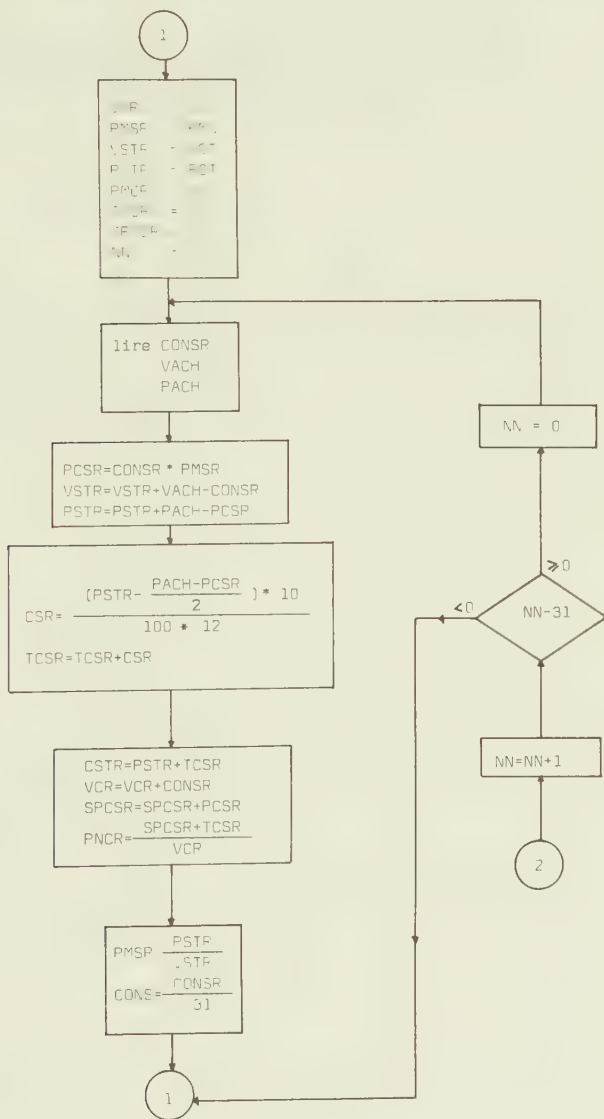
4.5.1. Méthode

La stratégie a été simulée pour la période du premier janvier 1970 au 31 juillet 1971, à l'aide des cours journaliers de la bourse de New York. Les résultats obtenus à l'aide du modèle adaptatif sont comparés aux résultats effectifs d'une entreprise multinationale de moyenne importance consommant principalement du cacao. Les identificateurs des variables qui concernent l'entreprise sont les mêmes que ceux du modèle, mais se terminent par la lettre R. Les résultats de la simulation sont calculés chaque jour. Par contre, les résultats de l'entreprise n'existent que pour chaque fin de mois. Les méthodes utilisées pour rendre les chiffres comparables provoquent certaines inexactitudes :

- Dans le modèle, la consommation journalière est considérée comme constante. Mais l'entreprise subit certaines variations saisonnières qui provoquent des fluctuations de la consommation. Pour rendre les résultats comparables, la consommation mensuelle de l'entreprise a été divisée chaque mois par 31 pour trouver la consommation journalière à appliquer au modèle.
- Le prix moyen du stock, qui valorise la consommation à une époque t , est celui de l'époque $t-1$. Dans le modèle, l'époque $t-1$ est représentée par le jour précédent, alors que c'est le mois précédent pour l'entreprise. Cette méthode avantage le modèle lors de baisses de cours pendant le mois considéré, et l'entreprise lors de hausses.



- Le coût de stockage est calculé sur le stock moyen du mois, alors qu'il est calculé journalièrement dans le modèle. Les fluctuations intermédiaires du stock n'apparaissent donc pas dans les résultats de l'entreprise. Les fluctuations intermédiaires concaves du volume du stock avantagent l'entreprise, mais les fluctuations convexes avantagent le modèle.



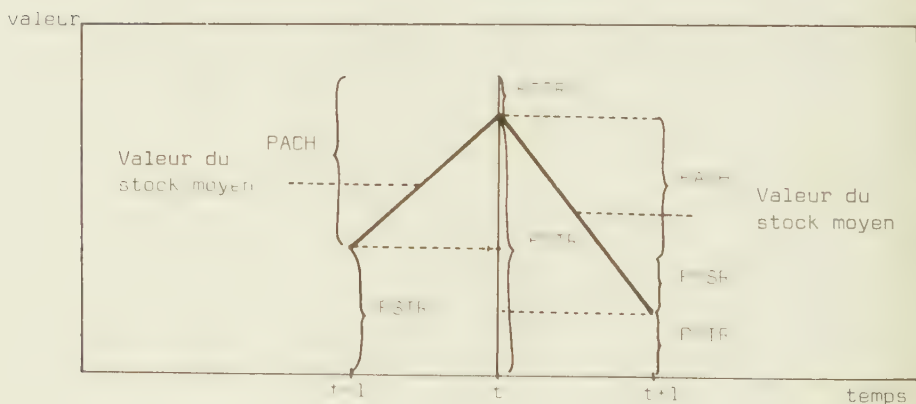
4.5.2. Organigramme

Après les instructions d'initialisation, l'ordinateur lit la consommation (CONSR), le volume de transaction (VACH) et le prix total des transactions (PACH) du mois courant. Le prix de la consommation (PCSR), le volume du stock (VSTR), et le prix du stock (PSTR) sont calculés de la même façon que pour la simulation du modèle.

Le volume du stock ainsi que sa valeur varient pendant la période du fait des transactions et de la consommation. Le coût de stockage doit donc porter sur la valeur du stock moyen de la période. En supposant par hypothèse que le stock varie linéairement dans le temps, la valeur du stock moyen est égale à

$$PSTR - \frac{PACH - PCSR}{2}$$

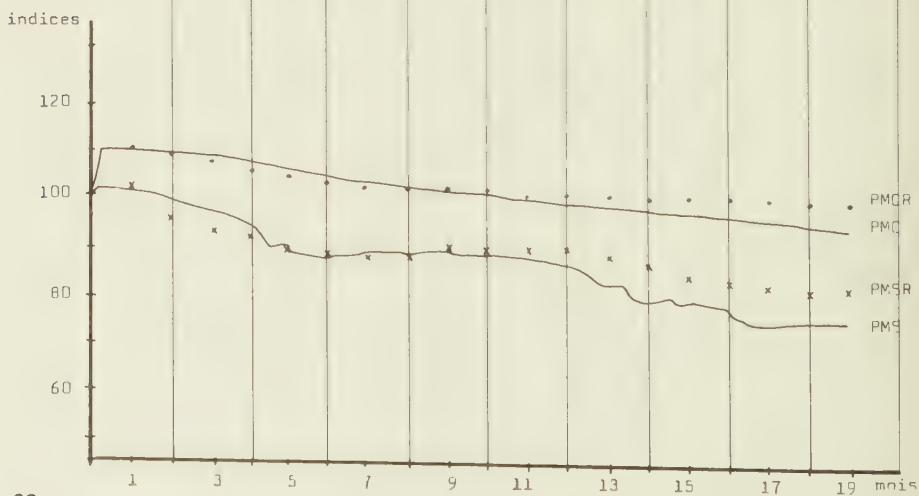
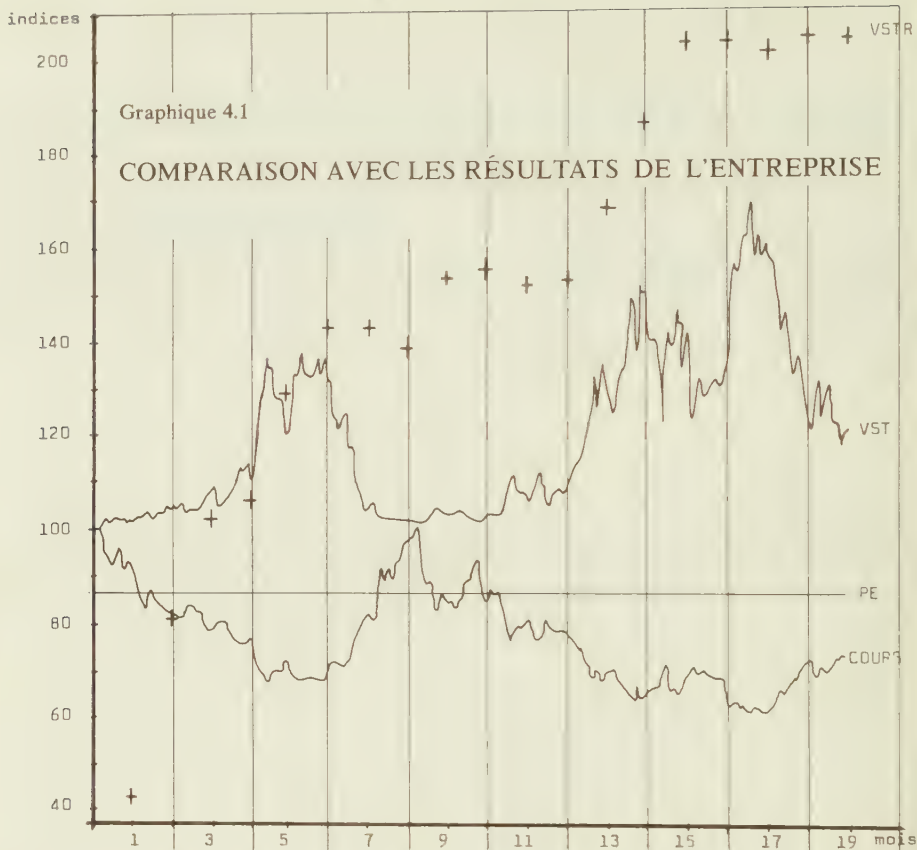
En effet, si PACH est positif (graphique au temps t) la différence entre PACH et PCSR (qui est toujours positif) divisée par 2 est soustraite à PSTR, ce qui donne bien la valeur du stock moyen au temps t . Si PACH est négatif (graphique au temps $t + 1$), PACH et PCSR s'additionnent (négativement) et, par le jeu des signes, leur total, divisé par deux, s'ajoute à PSTR.



Le coût de stockage mensuel est égal à la valeur moyenne multipliée par 10/100 (coût de stockage 10 %), le tout divisé par 12.

Les variables suivantes sont calculées de la même manière que les variables correspondantes du modèle, sauf CONS qui représente la consommation journalière à utiliser dans le modèle et qui dépend de la consommation mensuelle observée dans l'entreprise.

Les instructions de ce bloc ne doivent être exécutées qu'une fois par mois. Aussi longtemps que le compteur NN n'atteint pas 31, elles sont donc ignorées, sauf lors du premier passage. Ensuite, NN est remis à zéro.



4.5.3. Résultats graphiques

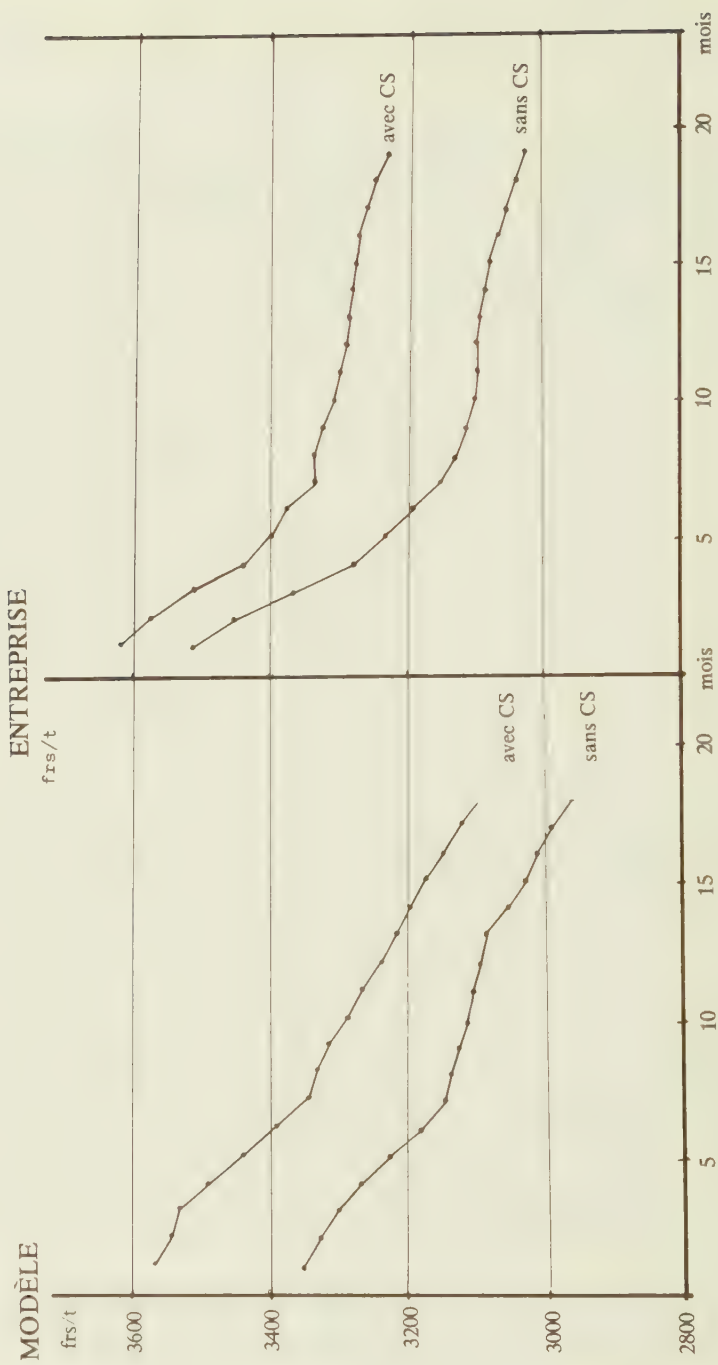
Le prix moyen du stock de l'entreprise est supérieur à celui du modèle pendant le premier mois. Cela est dû à la prévision du responsable des approvisionnements qui estime que le cours va continuer de baisser. Il n'augmente donc que modérément le stock alors que celui du modèle se situe déjà à plus de 3 000 t. Comme le cours est alors plus bas que le prix moyen du stock initial (les cours étaient élevés en 1969), les achats provoquent une diminution du PMS et avantagent le modèle. Mais, comme la prévision de l'entreprise s'avère exacte aux 2^e et 3^e périodes, le prix moyen de son stock diminue sous l'effet d'achats importants à un cours bas, et tombe au-dessous du PMS. Au 5^e mois, le stock du modèle, qui s'était stabilisé, s'accroît fortement lorsque le cours s'écarte du point d'équilibre (PE), l'élasticité du stock par rapport au cours devenant plus forte; le PMS se rapproche du PMSR.

La situation de l'entreprise est à nouveau meilleure aux 7^e et 8^e mois, lorsque l'acheteur retarde la consommation du stock (et la vente en bourse), prévoyant que le cours va augmenter; mais au 9^e mois, il achète alors que le stock du modèle varie peu jusqu'au 13^e mois, où il s'accroît fortement lorsque le cours est bas. Dès le 7^e mois, les responsables de l'entreprise estiment que le cours sera élevé en 1971; le stock moyen est donc élevé. Cette prévision ne se révèle pas exacte. Au contraire, le cours va continuer de baisser en 1970 (9^e au 12^e mois) et en 1971. Le modèle adaptatif est donc meilleur. A la fin de la période de simulation (juillet 1971), le stock de l'entreprise est trop élevé, car le cours va baisser encore.

Le prix moyen de la consommation du modèle pour l'ensemble de la période simulée est de 6 % moins élevé que celui de l'entreprise. Cela représente un bénéfice de Frs 1 000 000.—, dont près de la moitié est due au coût de stockage (10 % de la valeur du stock), qui est très élevé pour l'entreprise. Il est représenté, sur le graphique du prix moyen de la consommation avec et sans coût de stockage, par la distance séparant les deux courbes, mesurée verticalement. Le prix moyen du stock du modèle est 8 % moins élevé à la fin de la période simulée que celui de l'entreprise. Le bénéfice supplémentaire qui en résulte est difficile à évaluer car les quantités sont très différentes (3 650 t. pour le modèle et 6 400 t. pour l'entreprise). Si les quantités étaient égales, il représenterait Frs 1 000 000.—. Cette simulation montre la difficulté de la prévision des cours basée sur l'estimation des récoltes, qui dépendent elles en grande partie de facteurs météorologiques imprévisibles : la prévision de l'acheteur s'avère au moins aussi souvent fausse que juste. L'entreprise était consciente de ce problème; c'est ce qui l'a incitée à nous demander de tester des modèles adaptatifs.

L'analyse du graphique de la courbe du stock met en évidence un défaut du modèle adaptatif d'achats et ventes: lorsque le cours baisse fortement, le

PRIX MOYEN DE LA CONSOMMATION



stock augmente de plus en plus rapidement grâce à l'élasticité croissante, ce qui est excellent. Mais après le point de retournement, le stock diminue avec la même ampleur, puisque l'élasticité reste forte. Les achats réalisés à cours bas sont donc revendus peu après presque au même prix et le gain est quasi nul. Au contraire, le coût de stockage grève le PMC (mois 4 et 5, 14 et 15, 17 et 18). Pour éliminer ce défaut, nous avons modifié le modèle en supprimant la possibilité de vente en bourse (modèle sans ventes). Par ailleurs, de petites variations du cours provoquent de fortes variations du stock lorsque le cours se situe près des bornes de l'intervalle de variation du cours. Pour éviter de trop fréquentes modifications du stock, nous avons testé un certain nombre de filtres (voir plus loin) qui ne permettent une variation de stock qu'après une variation donnée du cours.

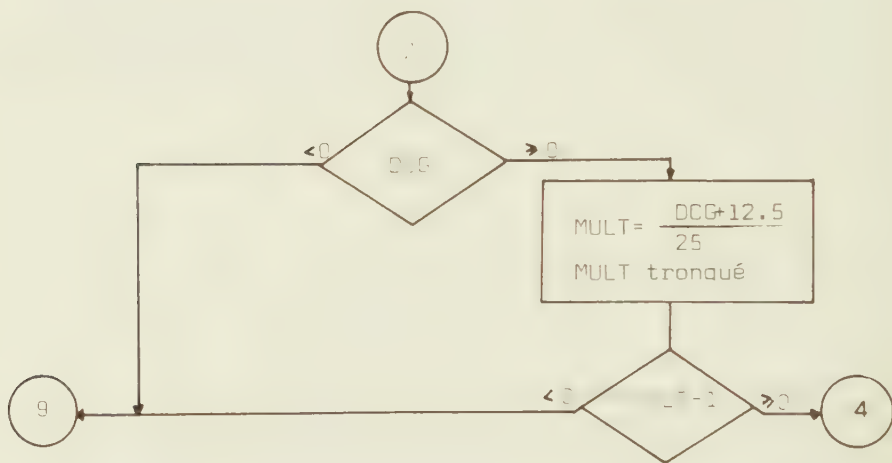
4.6 Modifications apportées au modèle

4.6.1. *Modèle sans ventes*

L'entreprise qui consomme des matières premières vendues en bourse se fixe des objectifs qui diffèrent de ceux d'un spéculateur. Alors que ce dernier désire réaliser un gain maximal par des opérations d'achat et de vente, l'entreprise cherche à consommer ses matières premières au prix le plus bas. Ainsi, par exemple, le spéculateur achète des titres ou des marchandises au prix qu'il croit être le plus bas, les garde pendant la période de hausse et les revend lorsqu'il prévoit un retournement de la tendance. La démarche de l'entreprise est différente: elle consomme la marchandise pendant la période de hausse et revend éventuellement le surplus, correspondant à la différence entre stock effectif et stock désiré. Dans le modèle adaptatif sans vente, ce surplus n'est pas vendu. L'entreprise consomme la matière première jusqu'à ce qu'un nouvel achat soit prévu par le modèle. Le déclenchement de l'ordre d'achat se situe en général en période de baisse, mais peut intervenir également en période de hausse si la consommation est telle que le stock tombe au-dessous du stock calculé par le modèle en fonction du cours. Les caractéristiques de cette stratégie sans ventes sont les suivantes :

- les matières premières achetées ne sont pas revendues, sauf pour des échanges de qualités; elles sont consommées;
- le stock moyen est plus élevé que dans le modèle avec ventes, le coût de stockage est donc plus important;
- les ventes à bas prix n'ont plus lieu: le défaut constaté au chapitre précédent est supprimé;

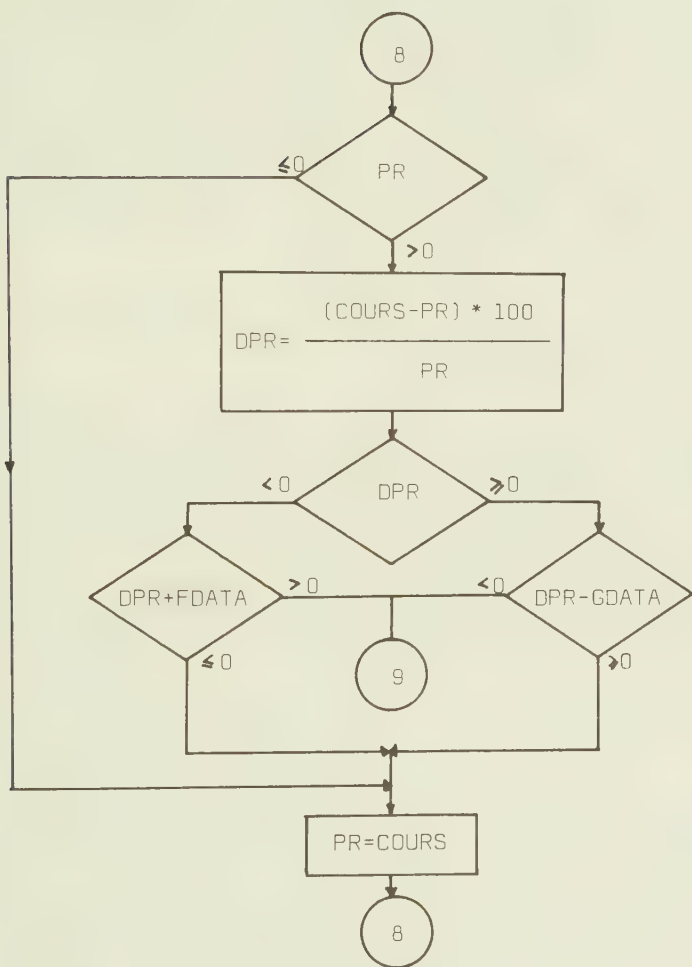
- les fluctuations du stock sont moins grandes que dans le modèle avec vente. Le coût de passation de commande est donc plus faible;
- l'organigramme de la simulation est légèrement modifié. On remplace la partie concernant le calcul du volume et du prix de la consommation par l'organigramme suivant, où seules les valeurs positives de DCG sont prises en considération :



4.6.2. Modèle avec filtre

Lorsque l'écart du cours au point d'équilibre est élevé (en valeur absolue), de petites modifications du cours provoquent de fortes variations du stock. Si le cours «stagne» dans une zone éloignée du point d'équilibre, cette situation provoque d'incessantes opérations d'achat et de vente qui ont tendance à se compenser les unes les autres et provoquent une augmentation du prix moyen de la consommation par l'intermédiaire du coût de passation de commande. Pour éliminer ce défaut, nous avons soumis les modifications du stock à un filtre qui ne déclenche une transaction qu'au delà d'une variation minimum du cours. Cette méthode s'inspire de celle utilisée par Semah, Serres et Tessier (10), mais le point de référence pour le seuil de déclenchement du filtre est donné par la valeur du cours à la dernière transaction, et non par le dernier point de retournement de la tendance. Cette stratégie nécessite un bloc d'instructions supplémentaires dans l'organigramme de base:

lire FDATA
GDATA

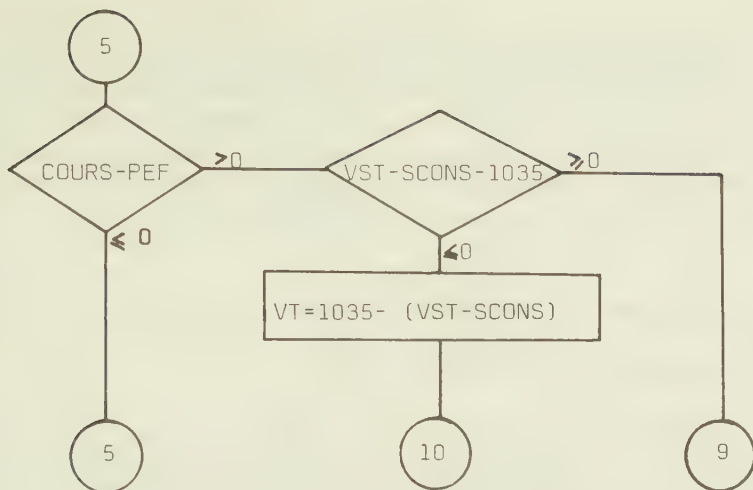


Le programme teste la valeur de PR (point de référence), qui est initialisé à zéro. Si PR est nul, le programme passe pour la première fois par cette séquence et l'achat (ou la vente) est déclenché. Le nouveau point de référence est alors le premier cours de la simulation. Si PR est positif (il ne peut pas être négatif), le programme calcule quelle est la variation (en %) du cours (DPR) depuis le dernier point de référence. La variation est calculée en %, car la variance des variations de cours n'est pas constante; nous verrons dans un chapitre ultérieur qu'elle dépend de la valeur du cours. Si DPR est positif, il doit être supérieur ou égal à GDATA, seuil de déclenchement du filtre lorsque le cours augmente, pour qu'une transaction ait lieu. Si DPR est négatif, une transaction n'est effectuée que si DPR est inférieur ou égal à FDATA, seuil de déclenchement lorsque le cours baisse. Après une transaction, le nouveau point de référence est égal au cours du jour.

4.6.3. *Modèle semi-adaptatif*

Lorsque le cours augmente, le stock indiqué par le modèle diminue; cette diminution a lieu par l'intermédiaire de la consommation. Mais, si la consommation est forte, il peut arriver que la diminution due à la consommation soit supérieure à la diminution calculée; dans ce cas, le modèle comble la différence par un achat. Comme le cours a alors augmenté, cet achat a lieu à un prix plus élevé. Pour éviter ces achats à un prix élevé, nous avons testé une stratégie dans laquelle le modèle n'achète que lorsque le cours se situe au-dessous du point d'équilibre. Le désavantage de cette stratégie est qu'elle peut se transformer en stratégie de simple renouvellement lorsque le cours est élevé pendant une longue période. Nous l'avons donc comparée aux autres stratégies durant une période peu favorable. Ses caractéristiques sont les suivantes :

- il n'y a pas d'achats à un prix élevé qui grèvent le prix moyen de la consommation par leur montant et par le coût de stockage qui en résulte;
- le stock moyen est bas;
- en période prolongée de cours élevés, la stratégie se transforme en simple renouvellement. Il n'y a plus de stock-tampon répartissant le coût d'acquisition de la matière première dans le temps. Le PMS augmente alors rapidement et l'amplitude de ses fluctuations sur l'ensemble de la période est plus grande que dans les modèles précédents;
- l'organigramme de la simulation est modifié par un bloc d'instructions supplémentaires :



Si le cours est inférieur au point d'équilibre (PEF), le modèle agit comme dans les autres stratégies. Si le cours lui est supérieur, le modèle examine si le stock, diminué de la consommation journalière, est au-dessus ou au-dessous du stock minimum. S'il est au-dessus, le volume de transaction et son prix sont nuls; le stock diminue alors en fonction de la consommation. S'il est au-dessous, le modèle le comble jusqu'au stock minimum (comme lors du simple renouvellement).

4.6.4. Modèle de simple renouvellement

Dans ce modèle, le stock minimum est comblé au fur et à mesure de la consommation. Ses caractéristiques sont les suivantes :

- le prix moyen de la consommation correspond au cours moyen augmenté du coût de stockage;
- le stock moyen est faible et se situe légèrement au-dessous du stock minimum. Le coût de stockage est donc peu élevé;
- l'amplitude des fluctuations du prix moyen de la consommation est nettement plus grande que dans les autres modèles; elle rend donc la période de la comparaison délicate à déterminer. Le meilleur moment est celui où, dans le modèle auquel est comparé le simple renouvellement, le prix moyen du stock (PMS) est voisin du prix moyen de la

consommation, de manière que tous deux varient dans le même sens selon la tendance ultérieure du cours. En effet, si le PMS est inférieur au PMC, ce dernier va continuer de diminuer même si le cours augmente. Les stratégies avec stock-tampon disposent dans ce cas d'une « réserve » et sont défavorisées dans la comparaison, puisque le PMC de la stratégie de renouvellement réagit plus fortement et plus rapidement aux changements de tendance du cours.

4.7 Présentation des résultats

4.7.1. Période de 4 ans: 1968 — 1971

Le tableau 4.1 indique les PMC des différentes stratégies avec plusieurs types de filtres. Le meilleur résultat est atteint par le modèle semi-adaptatif avec filtre différencié (2% lorsque le cours monte, 5% lorsqu'il baisse): le prix moyen de la consommation pour la période simulée (1968 — 1971: cours journaliers de la bourse de New York) est de 5,7% moins élevé que celui de la stratégie la moins efficace (achats et ventes sans filtre: stratégie examinée dans le chapitre précédent). Viennent ensuite les stratégies semi-adaptatives avec d'autres filtres, puis 2 stratégies sans ventes, 2 stratégies avec ventes et enfin les stratégies avec et sans ventes munies de filtres 2% et sans filtre.

Tableau 4.1

PRIX MOYEN DE LA CONSOMMATION

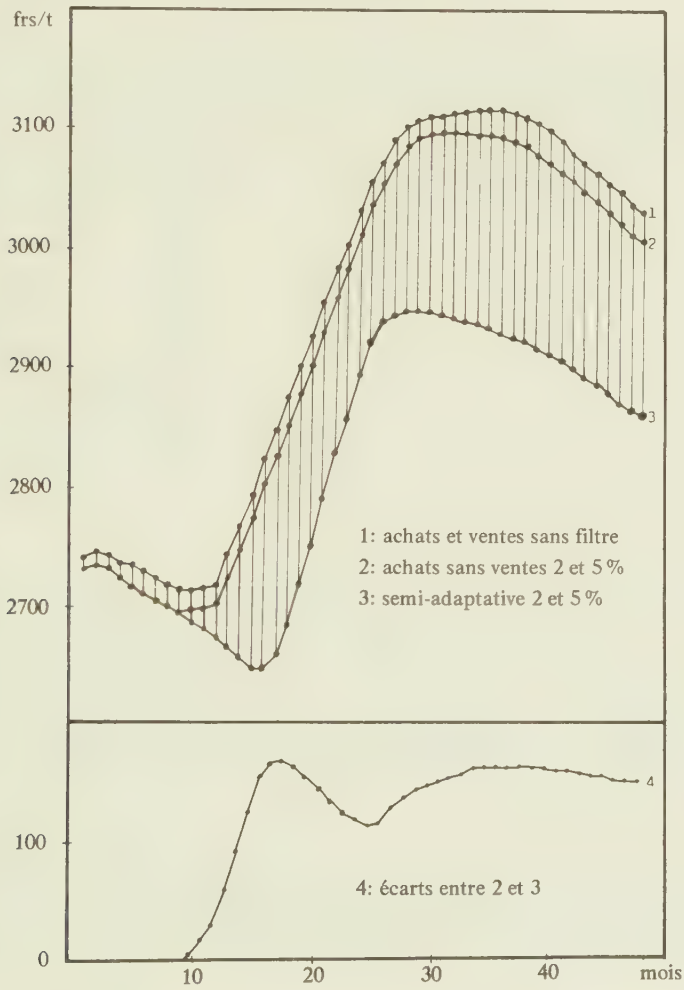
modèle filtre	semi- adaptatif sans ventes	sans ventes	avec ventes
2 et 5 %	1) 2859.51	5) 3006.79	7) 3012.59
5 et 5 %	2) 2868.46	6) 3012.16	8) 3013.37
2 et 2 %	3) 2882.45	10) 3022.88	11) 3031.48
sans filtre	4) 2885.30	9) 3020.50	12) 3032.07

Le graphique 4.3 représente l'évolution du PMC des stratégies avec ventes sans filtre, sans ventes filtre 2 et 5%, et semi-adaptative filtre 2 et 5%, ainsi que les écarts entre la deuxième et la troisième. Les courbes des

autres stratégies (non dessinées) se situent presque toujours à l'intérieur de la zone séparant la première de la deuxième. A l'intérieur des types de stratégie, le meilleur résultat est toujours obtenu par le filtre 2 et 5% (2% lors de hausses et 5% lors de baisses): en période de hausse, il est avantageux d'examiner le stock assez souvent, de manière à ce qu'il puisse être accru, si nécessaire, au prix le plus bas possible. Par contre, en période de baisse, le stock

Graphique 4.3

PRIX MOYEN DE LA CONSOMMATION



augmente fortement. Il est donc nécessaire de retarder l'achat tout en évitant de «manquer» le point le plus bas lors d'un retournement de la tendance. Les différences entre les 3 stratégies avec filtre 2 et 5 % et la stratégie avec ventes sans filtre sont relativement faibles, sauf pour la stratégie semi-adaptative.

A la fin de la période simulée, les stocks des stratégies dont les résultats figurent dans le tableau 4.2 sont presque égaux. Par contre, les prix moyens du stock ne sont pas pareils. Certaines stratégies disposent donc d'une «réserve», qui se traduit par un profit supplémentaire.

Tableau 4.2

PROFITS SUPPLÉMENTAIRES DUS AUX PMS EN FIN DE PÉRIODE PAR RAPPORT AU MODÈLE AVEC VENTES SANS FILTRE

	semi-adaptatif filtre 2 et 5 %	sans ventes 2 et 5 %	avec ventes 2 et 5 %	avec ventes sans filtre
Stock	5000 t	4980 t	5005 t	4980 t
PMS	2190.—	2240.—	2239.—	2263.—
Ecart PMC	5,7 %	0,8 %	0,6 %	
Ecart PMS	0,8 %	0,3 ‰	0,3 ‰	
Ecart total	6,5 %	1,1 ‰	0,9 ‰	

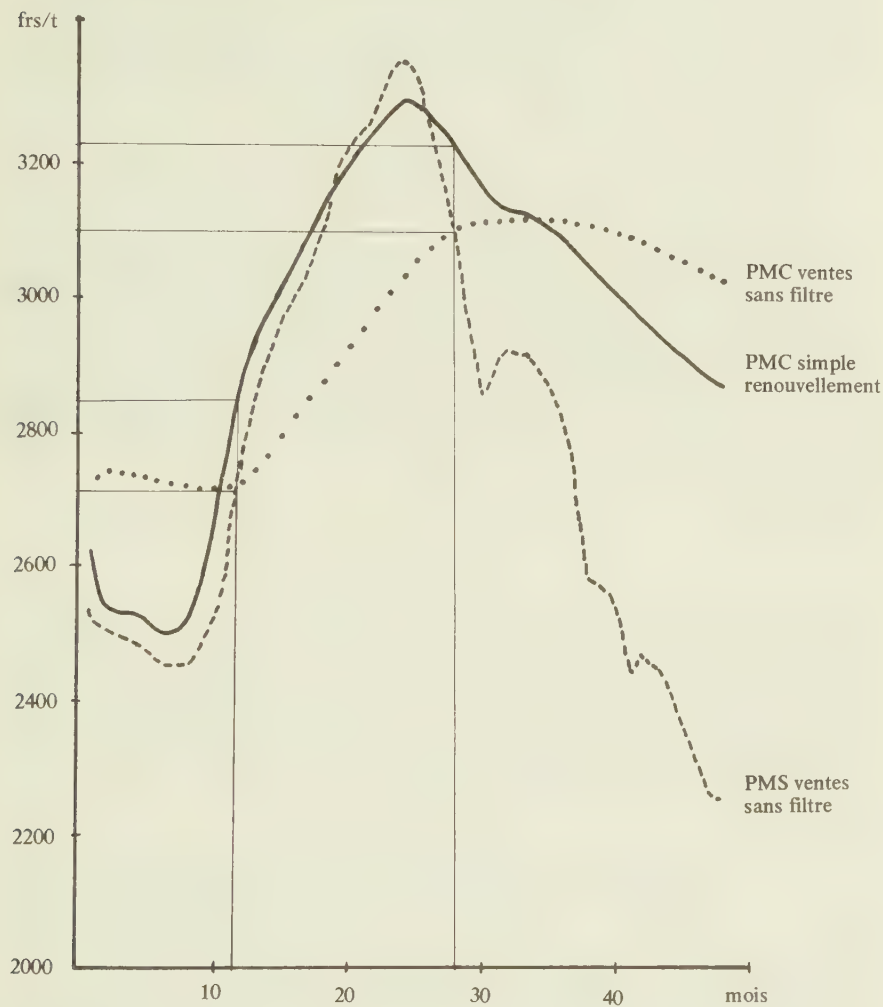
Nous avons montré au chapitre précédent que la comparaison entre les modèles avec stock-tampon et le modèle de simple renouvellement n'était possible qu'à un moment où le prix moyen du stock est égal au prix moyen de la consommation.

Le graphique 4.4 représente l'évolution du prix moyen de la consommation et du prix moyen du stock de la stratégie avec ventes sans filtre, ainsi que celle du prix moyen de la consommation de la stratégie de simple renouvellement. On y constate que :

- 1) L'existence d'un stock-tampon atténue très fortement les fluctuations du prix moyen de la consommation. En effet, l'amplitude des fluctuations du PMC lors de simples renouvellements est plus importante que celle de la stratégie avec ventes sans filtre.

Graphique 4.4

STRATÉGIE DE SIMPLE RENOUVELLEMENT



- 2) Le PMC du modèle de simple renouvellement réagit plus tôt et plus rapidement aux changements de tendance du cours. Ainsi, aux mois 8, 9, et 10, par exemple, le PMS du modèle avec ventes augmente, mais son PMC continue de diminuer. Cela provient du fait que le stock est consommé à son prix moyen. Aussi longtemps que ce dernier ne se situe pas au-dessus du PMC, même s'il augmente, le PMC continue de diminuer. Pendant cette même période, le PMC de la stratégie de renouvellement a réagi plus tôt aux changements de tendance. Ce phénomène complique la comparaison des deux modèles. En effet, lorsque le PMS est très inférieur au PMC, le modèle avec vente dispose d'une réserve, en ce sens que le cours peut augmenter sans provoquer une augmentation du PMC, alors que l'effet est immédiat dans le cas du modèle avec renouvellement. Pourtant, lors du 28^e mois, le PMS devient inférieur au PMC sans que ce dernier diminue. Cela provient du coût de stockage qui est inclus dans le PMC, mais pas dans le PMS. Si le PMS diminue, c'est parce que le cours diminue et que le stock augmente; si l'accroissement du coût de stockage qui en résulte est supérieur à la diminution du PMS, le PMC continue d'augmenter. C'est ce cas que nous rencontrons ici.

Tableau 4.3

COMPARAISON AVEC LES RÉSULTATS DE L'ENTREPRISE
1^{er} JANVIER 1970 — 31 JUILLET 1971

	semi-adaptatif 2 et 5 %	sans ventes 2 et 5 %	avec ventes 2 et 5 %	avec ventes sans filtre	entreprise
PMC	2814.96	2999.30	3012.96	3032.82	3222.36
écart PMC*	12.7 %	7 %	6.6 %	6 %	
VST	4350 t	4355 t	3555 t	3630 t	6360 t
PMS	2321.—	2399.—	2440.—	2467.—	2628.—
écart PMS	difficile à estimer, les stocks étant différents, mais significatif				

* par rapport au PMC de l'entreprise.

- 3) Chaque fois que le PMS et le PMC du modèle avec ventes sont égaux, le PMC de la stratégie de simple renouvellement est supérieur au PMC de la stratégie avec ventes (5 % le 12^e mois et 4 % le 28^e mois). On en conclut que toutes les stratégies avec stock-tampon sont plus efficaces que le simple renouvellement, puisque celle d'entre elles que nous lui avons comparé ici est la moins efficace.

4.7.2. Période correspondant aux résultats connus de l'entreprise

Il nous reste à comparer les résultats des stratégies modifiées avec ceux de l'entreprise. Comme le montre le tableau 4.3, le PMC de l'entreprise est supérieur à celui de tous les autres PMC, et le classement des PMC est le même que dans les tableaux 4.1 et 4.2. Le profit supplémentaire dû au PMS en fin de période ne peut pas être évalué, car le stock de chaque modèle est différent, mais il est important.

4.8 Analyse des résultats

Le graphique 4.3 montre que les écarts entre les stratégies avec ventes et celles sans ventes sont nettement inférieurs à ceux qui existent entre les stratégies semi-adaptatives et toutes les autres. Nous comparerons donc d'abord le modèle sans ventes avec filtres 2 et 5 % au modèle semi-adaptatif avec le même filtre. Puis nous justifierons les écarts entre les modèles avec et sans ventes.

4.8.1. Modèle semi-adaptatif et modèle sans ventes, avec filtres 2 et 5 %.

Les courbes du graphique 4.3 représentent l'évolution du PMC des modèles semi-adaptatifs et sans ventes, ainsi que leurs écarts, celles des graphiques 4.5 et 4.6 l'évolution du cours, du stock et du PMS des deux modèles. Pendant les 8 premiers mois de la simulation, les courbes sont exactement pareilles, parce que le cours se situe en-dessous du point d'équilibre. Dès le 9^e mois, et jusqu'au 15^e, le modèle semi-adaptatif n'achète plus, puisque le cours a dépassé le point d'équilibre; le prix moyen du stock reste donc stable, alors que le prix moyen de la consommation diminue, à la suite de la consom-

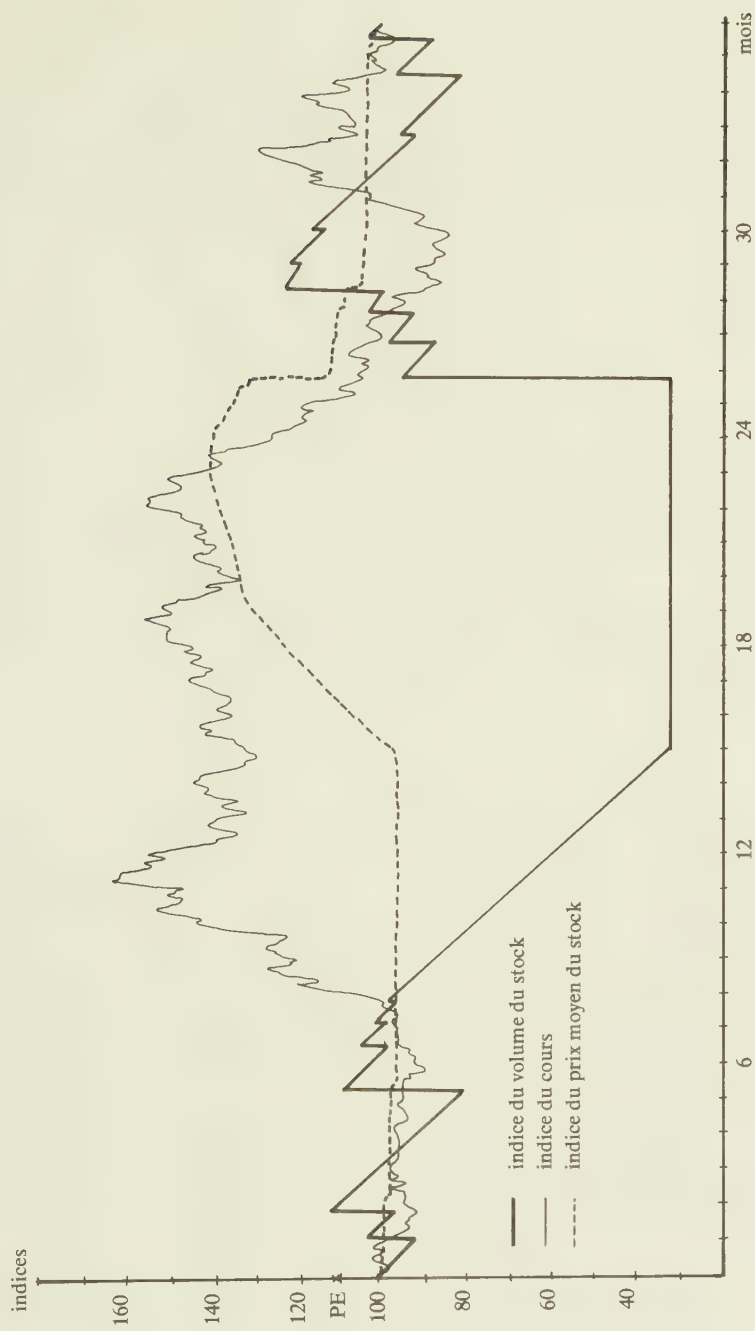
mation du stock (moins de coûts de stockage). Pendant cette période, le stock du modèle sans ventes diminue également, mais dans une moindre mesure, puisqu'il réagit aux baisses du cours par des achats; parfois même, il achète à la hausse, la consommation étant supérieure à la diminution désirée du stock. Le PMS, ainsi que le PMC, augmentent puisque le cours est plus élevé; le coût de stockage est plus important.

Du 16^e au 25^e mois, le modèle semi-adaptatif se transforme en simple renouvellement, car le stock minimal est atteint. Le prix moyen du stock augmente donc rapidement, car le modèle comble chaque jour le stock minimal d'un montant égal à la consommation. Comme le stock-tampon n'existe plus, les achats à un prix élevé ne sont pas compensés par les autres achats des 9 premiers mois et la croissance du PMS et du PMC est nettement plus forte que celle du modèle sans ventes, jusqu'au 24^e mois. L'écart du PMC des deux modèles diminue donc. Pendant le 25^e mois, pour la même raison, la diminution du cours provoque une réaction plus rapide des PMS et PMC du modèle semi-adaptatif. Pendant le 26^e mois, le cours tombe au-dessous du point d'équilibre et provoque une brusque augmentation du stock et une diminution du PMS dans le modèle semi-adaptatif; l'écart entre les PMC augmente à nouveau. Du 27^e au 31^e mois, les stratégies sont équivalentes, car le cours se situe en-dessous du point d'équilibre, mais l'écart des PMC augmente, car le PMS au début du 27^e mois est inférieur dans le modèle semi-adaptatif.

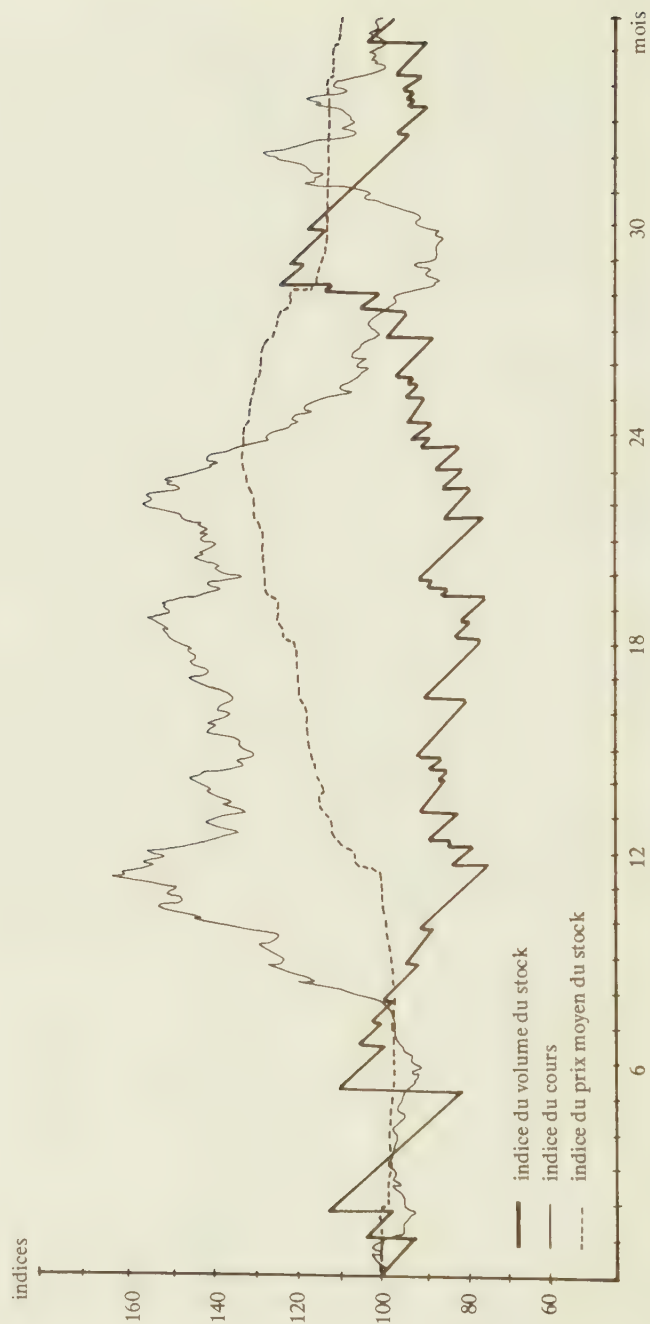
Du 32^e mois au 35^e, le cours fluctue au-dessus du point d'équilibre. Nous retrouvons la situation décrite pour les mois 9 à 15. Dès le 36^e mois, le cours se situe en-dessous du point d'équilibre et les deux modèles sont équivalents. Nous ne les avons pas représentés sur les graphiques 4.5 et 4.6.

Sur l'ensemble de la période, le modèle adaptatif est nettement meilleur que le modèle sans ventes, même si le PMS du premier se situe pendant une courte période (mois 18 à 26) légèrement au-dessus du PMS du deuxième. Pendant toute la période simulée, le PMC du modèle sans vente est supérieur à celui du modèle semi-adaptatif.

STRATÉGIE SEMI-ADAPTATIVE AVEC FILTRE 2 ET 5 %



ACHATS SANS VENTES AVEC FILTRES 2 ET 5 %



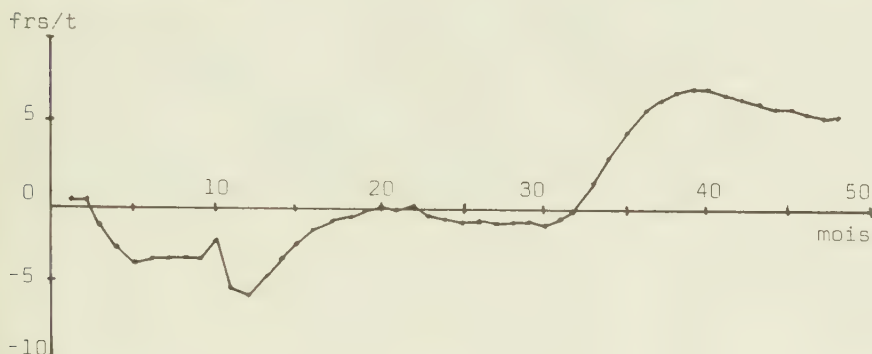
4.8.2. Modèles avec ventes et sans ventes

Le graphique 4.7 montre l'évolution de l'écart entre le PMC du modèle avec ventes et celui du modèle sans ventes, tous deux munis de filtres 2 et 5%.

Les courbes des graphiques 4.6 et 4.8 représentent l'évolution du cours, du stock et du PMS des deux modèles.

Graphique 4.7

MODÈLE AVEC ET SANS VENTES, FILTRES 2 ET 5% ÉCARTS DES PMC



D'une manière générale, on constate sur le graphique 4.7 que les écarts des PMC sont peu importants.

Pour l'ensemble de la période simulée, le PMC du modèle avec ventes muni de filtres 2 et 5% est de 0,6% inférieur au même modèle sans filtre (tableau 4.2), alors que celui du modèle sans ventes l'est de 0,8%. Du 3^e au 5^e mois, le modèle avec ventes est meilleur, car la vente, au début du 3^e mois, conduit à un stock moins élevé pendant toute la période considérée. Cette dernière est intéressante par l'antagonisme des coûts que l'on y constate: alors que le PMS du modèle avec ventes est supérieur au PMS de l'autre modèle à la suite d'une transaction qui semble mauvaise (vente à bas prix), son PMC est inférieur, car la variation du stock qui en résulte provoque une diminution du coût de stockage*. Du 6^e au 10^e mois, les deux modèles procèdent presque de la même manière; l'écart des PMC reste donc stable. Pendant le 11^e mois, le

* Nous rappelons que le PMS ne contient pas le coût de stockage, contrairement au PMC.

modèle sans ventes consomme uniquement du stock alors que l'autre en vend une partie à un prix élevé. Ceci provoque une augmentation de l'écart des PMC, mais qui est compensée par la suite.

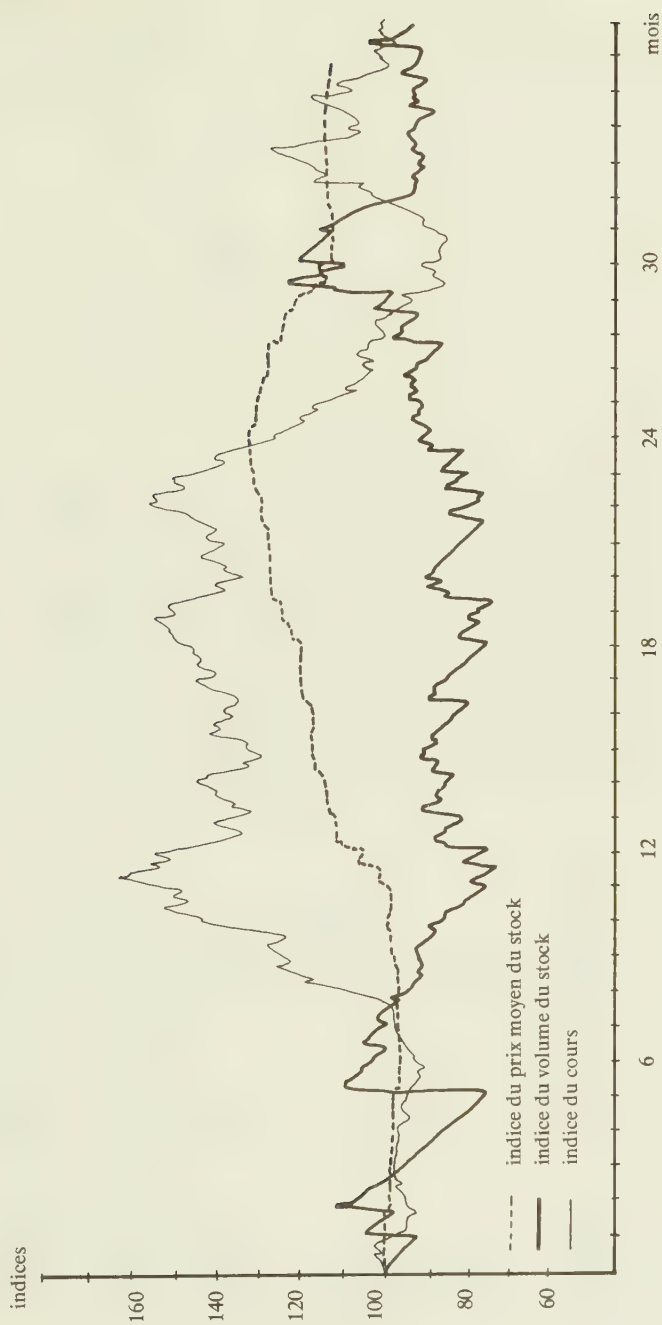
Du 13^e au 20^e mois, les transactions du modèle avec ventes sont plus nombreuses, car ses ventes doivent souvent être compensées par des achats ultérieurs à un prix élevé. L'écart des PMC diminue donc.

Du 20^e au 30^e mois, les deux modèles sont équivalents. Dès le 30^e mois, la différence des PMC devient positive à la suite des ventes trop rapides du modèle avec ventes, qui doit ensuite acheter pour atteindre le stock calculé. En résumé, il est possible d'affirmer que :

- les deux modèles sont équivalents lorsque le cours est élevé; le bénéfice provenant de ventes à un prix élevé est presque toujours à peu près compensé par des achats ultérieurs;
- le modèle avec ventes est plus efficace lorsque le cours stagne au-dessous du point d'équilibre, car son stock moyen est plus faible;
- le modèle sans ventes est nettement meilleur lorsque le cours subit de fortes fluctuations au-dessous du point d'équilibre;
- les écarts entre les deux modèles sont faibles car le filtre diminue le nombre de transactions du modèle avec ventes (voir graphiques 4.8 et 4.9).

Graphique 4.8

ACHATS ET VENTES AVEC FILTRES 2 ET 5%



ACHATS ET VENTES SANS FILTRE



5. Simulation stochastique

5.1 Méthode

Dans le cas étudié ici, le but de la simulation stochastique est de se départir de la chronique historique des cours et d'obtenir un échantillon de taille plus importante. La méthode consiste à générer des cours à partir de nombres au hasard et des propriétés statistiques de la chronique des cours.

Nous utilisons pour l'estimation de ces propriétés un modèle autorégressif d'ordre 1, appelé processus de Markov simple (1), car son comportement s'est révélé semblable à celui des *différences premières* de la chronique des cours. On dit en effet qu'un système se comporte selon un processus de Markov lorsqu'il peut prendre différents états, mais que la probabilité de passage de l'un à l'autre ne dépend que du *dernier* état dans lequel il se trouve; elle est également indépendante du temps. Ce modèle peut être formalisé de la manière suivante:

$$\nabla P_t = \alpha \nabla P_{t-1} + \varepsilon_t$$

où: $\nabla P_t = P_t - P_{t-1}$: variation journalière de cours

α : coefficient d'autocorrélation de 2 variations successives, à estimer

ε_t : variable aléatoire résiduelle

$$E(\varepsilon_t) = 0$$

$$E(\varepsilon_t \varepsilon_{t+k}) = 0 \quad , \quad k > 0$$

$E(\varepsilon_t^2)$ est finie, mais peut ne pas être constante

$$\text{d'où: } P_t = P_{t-1} + \alpha(P_{t-1} - P_{t-2}) + \varepsilon_t$$

En d'autres termes, la variation de cours au temps t est égale au produit de la variation au temps $t-1$ par un coefficient α , auquel s'ajoute une variable aléatoire résiduelle.

Le but de notre analyse est de déterminer le coefficient α et la variance de la variable aléatoire ε_t . Nous vérifierons également que $E(\varepsilon_t) = 0$.

Le processus est qualifié de «marche au hasard» (7) lorsque le coefficient α est nul et que la variance de ε_t est finie, mais non nécessairement constante dans le temps.

5.2 Coefficient d'autocorrélation

L'analyse spectrale et la régression permettent d'estimer le coefficient d'autocorrélation α . Nous utilisons successivement les deux techniques.

5.2.1. Analyse spectrale

Il s'agit d'une technique statistique utilisée notamment en analyse des chroniques pour décomposer la série en composantes de fréquences différentes. L'importance de chaque composante est donnée par l'estimation de sa contribution à la variance totale de la chronique.

La fréquence représente le nombre d'oscillations complètes de la composante par unité de temps. Son inverse est la période (durée d'une oscillation).

Cette procédure est intéressante dans l'analyse de la chronique des différences premières du cours. Elle permet en effet de comparer l'importance des oscillations de longue à celles de courte durée.

Si les premières sont plus importantes que les secondes, la chronique est marquée par une autocorrélation positive, car cette dernière tend à provoquer des différences premières successives de même signe (voir graphique 5.1).

Au contraire, les fluctuations de courte durée sont plus importantes que celles de longue durée dans le cas de l'autocorrélation négative, car les différences premières successives tendent à se compenser (voir graphique 5.2).

L'estimateur choisi est celui de Parzen. Il a déjà été utilisé dans une étude semblable (7) et comporte l'avantage, par rapport aux autres estimateurs (6), d'avoir une variance plus faible et de ne jamais fournir de valeur négative pour l'estimation du spectre; par contre, sa «fenêtre» (pondération des fréquences pour minimiser les fréquences adjacentes) est plus grande.

$$f(\omega_j) = \frac{C_0}{2\pi} + \frac{1}{\pi} \sum_{k=1}^{\frac{m}{2}} \left\{ 1 - \frac{6k^2}{m^2} \left(1 - \frac{k}{m} \right) \right\} C_k \cos \frac{\pi k j}{m}$$

$$+ \frac{2}{\pi} \sum_{k=\frac{m}{2}+1}^m \left(1 - \frac{k}{m} \right)^3 C_k \cos \frac{\pi k j}{m} \quad \text{pour } j = 0, 1, 2, \dots, m$$

où : les C_k représentent les autocovariances de la série pour des décalages (ou retards) de $k = 1, 2, \dots, m$

$$\text{ainsi } C_k = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^{n-k} (x_t - \bar{x})(x_{t+k} - \bar{x}) \quad : \text{estimateur biaisé}$$

où x_t : valeur de la série au temps t

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n x_t \quad : \text{moyenne de la série}$$

$$C_0 = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n (x_t - \bar{x})^2 \quad : \text{variance de la série}$$

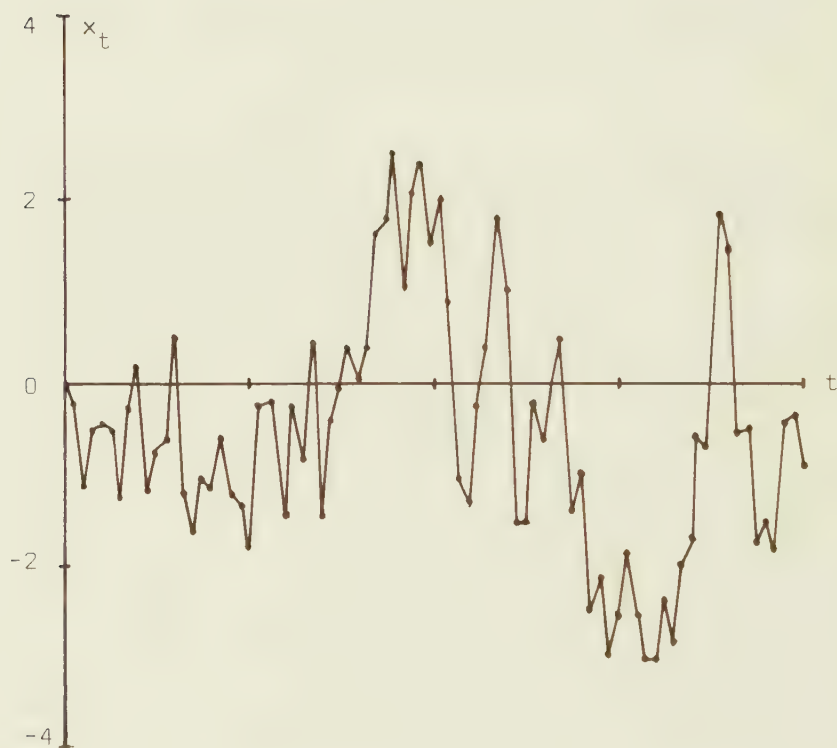
n : nombre d'observations de la série

SIMULATION D'UN PROCESSUS AUTORÉGRESSIF D'ORDRE 1; LOI NORMALE CENTRÉE ET RÉDUITE

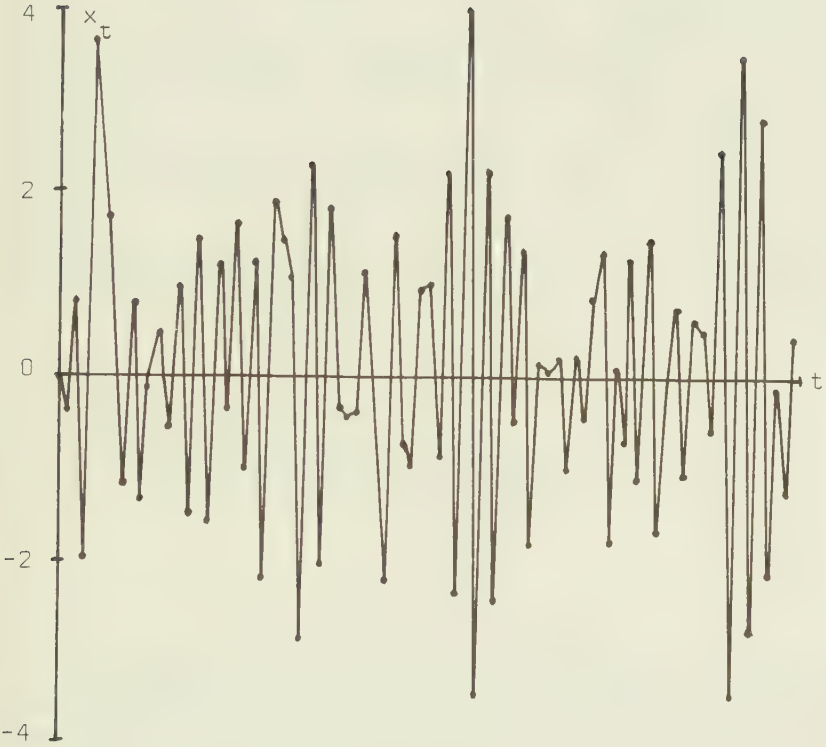
80 observations

Graphique 5.1
autocorrélation positive

$$\nabla x_t = 0.7 \nabla x_{t-1} + \varepsilon_t$$



Graphique 5.2
autocorrélation négative
 $\nabla x_t = -0.7 \nabla x_{t-1} + \varepsilon_t$



Les $m + 1$ estimations de $f(\omega)$ représentent la fonction de fréquence angulaire (spectre estimé).

La valeur de m (décalage maximal) est à la libre disposition de l'utilisateur, mais Granger (4) indique qu'il ne faut pas dépasser $n/3$.

La période est égale à $2m/j$; il en résulte que la période diminue lorsque j augmente (voir graphique 5.4) et que le spectre est décroissant lorsque les oscillations de longue durée sont plus importantes que celles de courte durée; dans le cas inverse, le spectre est croissant. L'analyse spectrale, appliquée aux *variations de cours* (différences premières de la série), nous indique donc:

- une autocorrélation positive lorsque le spectre estimé est décroissant. Dans ce cas, $\alpha > 0$.
- une autocorrélation négative lorsque le spectre estimé est croissant. Dans ce cas, $\alpha < 0$.
- une marche au hasard lorsque le spectre estimé est plat. Dans ce cas, $\alpha = 0$.

La croissance ou la décroissance ne sont significatives que si le spectre estimé sort de l'intervalle de confiance calculé à partir de la valeur moyenne du spectre estimé.

$$(\log \overline{f(\omega)} + \log \frac{l}{\chi^2_{l(1-\frac{\alpha}{2})}} ; \log \overline{f(\omega)} + \log \frac{l}{\chi^2_{l(\frac{\alpha}{2})}})$$

où: $\overline{f(\omega)}$: valeur moyenne de la fonction de fréquence.

$l = 3.71 \frac{n}{m}$: nombre de degrés de liberté pour l'estimateur de Parzen (6).

$\chi^2_{l/2}(\frac{\alpha}{2})$: valeur du khi carré au seuil de $(\frac{\alpha}{2})\%$ pour l degrés de liberté.

Labys et Granger (7) indiquent une méthode d'estimation de α à partir de l'estimation du spectre, valable même lorsque la variance de ε_t n'est pas constante (non-stationnarité). Nous ne la reproduisons pas ici, car nous montrerons que α ne diffère pas significativement de zéro dans le cas des différences premières du cours journalier du cacao à la bourse de New York (terme naturel suivant le jour coté), pour la période 1960 — 1971 (plus de 3 000 cours).

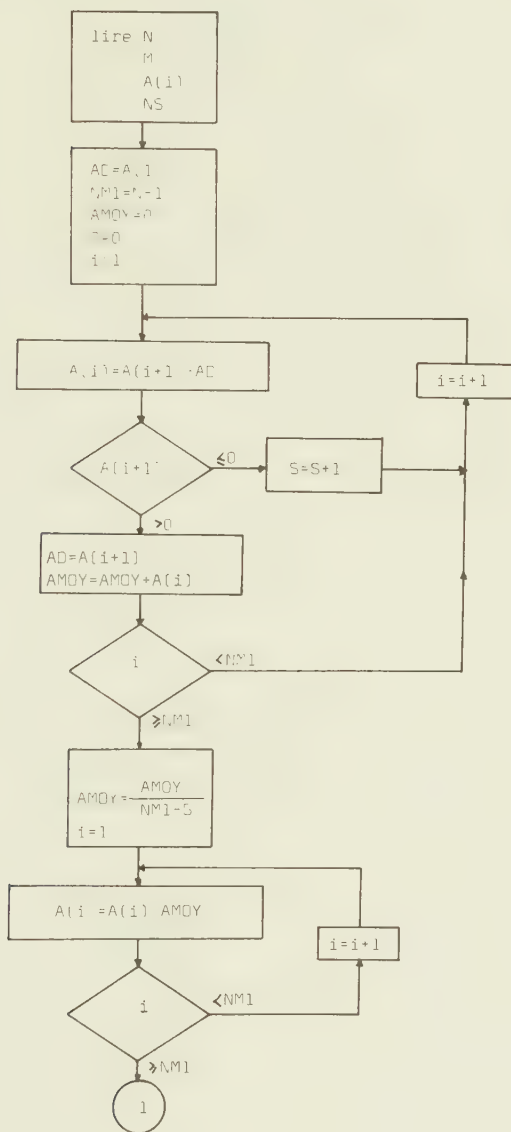
Le programme de traitement est écrit en FORTRAN et comporte environ 80 instructions. Le temps de calcul augmente presque exponentiellement avec le décalage maximal (compte tenu du nombre d'observations). Avec un ordinateur IBM 1130 il est de 3 heures pour 4 000 observations et un décalage maximal de 500. Une correction à la formule de calcul des autocovariances est rendue nécessaire par l'absence de certaines observations (jours de fermeture de la bourse). Granger (4) indique une méthode, mais elle n'est applicable sans trop de difficultés que lors d'une seule interruption de la séquence des observations, ou lorsque le décalage ne provoque pas, dans le calcul des covariances, de produits dont les deux facteurs sont nuls. Nous retenons pourtant de sa méthode l'utilisation des écarts de variations de cours à leur moyenne, et non les variations elles-mêmes. La formule de calcul des autocovariances devient :

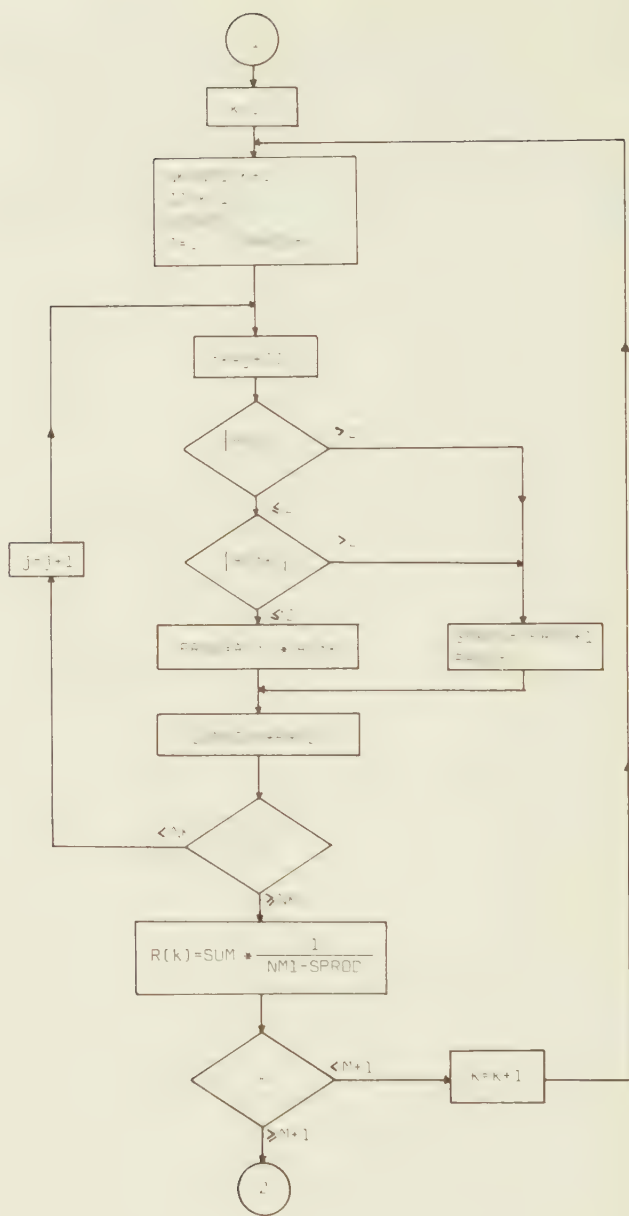
$$C_k = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n-k} \xi_i \xi_{i+k} \quad \text{où : } \xi_i = x_i - \bar{x}$$

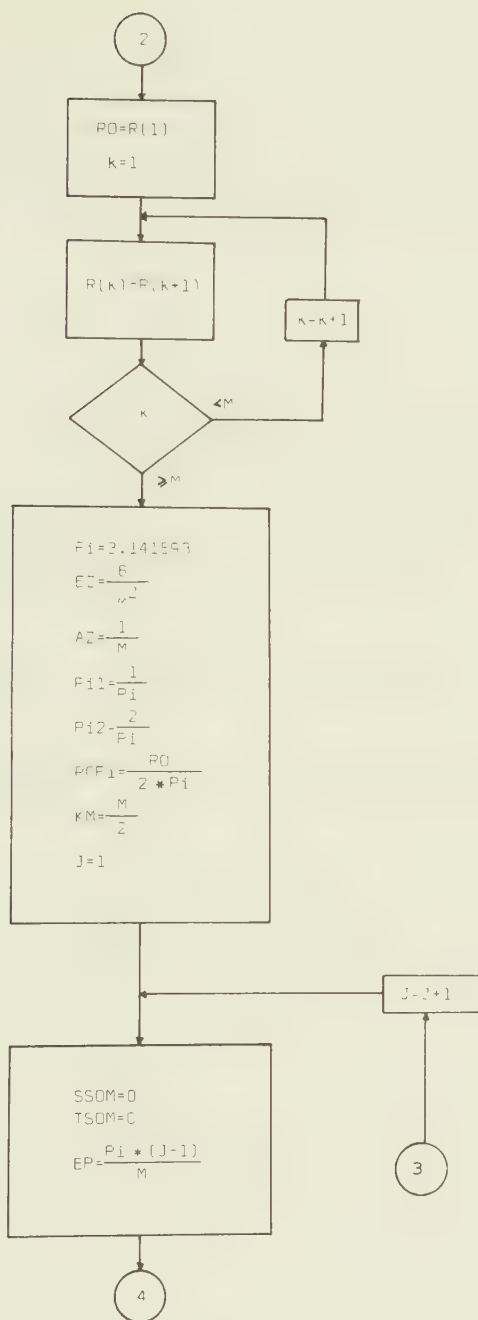
Les écarts relatifs aux jours sans cours sont annulés et le dénominateur n diminué du nombre de produits nuls. Il faut pourtant distinguer les produits nuls dus à la nullité des écarts à la moyenne (la variation de cours est égale à la variation moyenne) et les produits nuls obtenus par annulation des écarts des jours sans cours. Cette distinction est possible grâce à une limitation légale qui interdit, à la bourse du cacao de New York, des modifications journalières

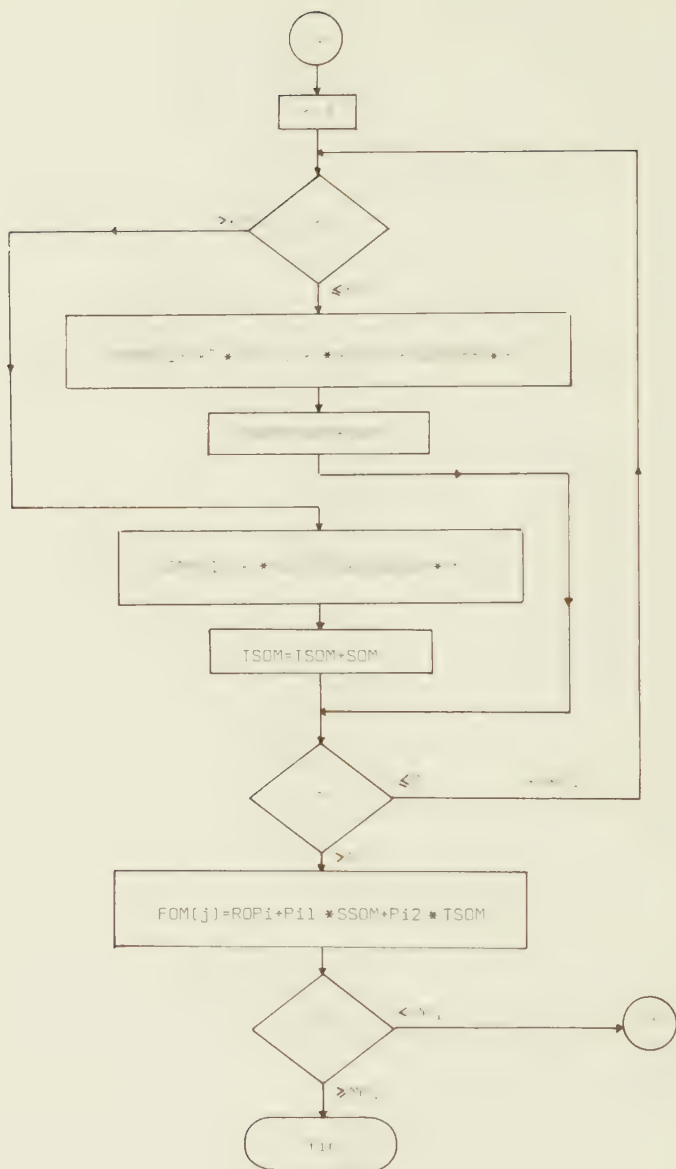
du cours de plus de 1 cent/lb. Les écarts à la moyenne ne peuvent donc pas excéder ± 2 cents/lb. L'ordinateur lit sur les cartes perforées des valeurs nulles pour les cours manquants et la variation de cours correspondante devient supérieure en valeur absolue à 1 (le cours ne descend pas en-dessous de 10 cents/lb); la valeur absolue de l'écart à la moyenne est donc supérieure à 2. Chaque fois que l'ordinateur trouve un facteur du produit $\S_i \S_{i+\kappa}$ supérieur en valeur absolue à 2, il diminue de 1 le dénominateur n et annule le produit.

ORGANIGRAMME DE L'ANALYSE SPECTRALE









Les graphiques 5.3, 5.4 et 5.5 représentent les fonctions de fréquences des variations journalières du cours de clôture du cacao (samedis et dimanches exceptés), pour des décalages maximaux de 40, 200 et 500 jours respectivement. Les fonctions de fréquences se situent à la limite de la marche au hasard et de l'autocorrélation positive. En effet, leur trend est décroissant, mais elles ne sortent de l'intervalle de confiance qu'à l'extrême limite du décalage maximal. Il est donc nécessaire de tester l'autocorrélation par une autre méthode.

5.2.2. Autorégression linéaire

Le modèle $\nabla P_t = \alpha \nabla P_{t-1} + \varepsilon_t$ peut être ajusté par une équation de régression portant sur les différences premières successives de la série. Cette méthode est admissible dans notre cas (9), car l'échantillon disponible est très grand (plus de 3 000 observations). Le but de l'analyse est de déterminer si le coefficient α diffère significativement de zéro.

L'ajustement a été réalisé avec un programme basé sur le SSP IBM 1130 (scientific subroutine package).

Equation de régression: $\nabla P_t = 0.01887 \nabla P_{t-1} + 0.00222$

Le coefficient de corrélation s'élève à 0.019

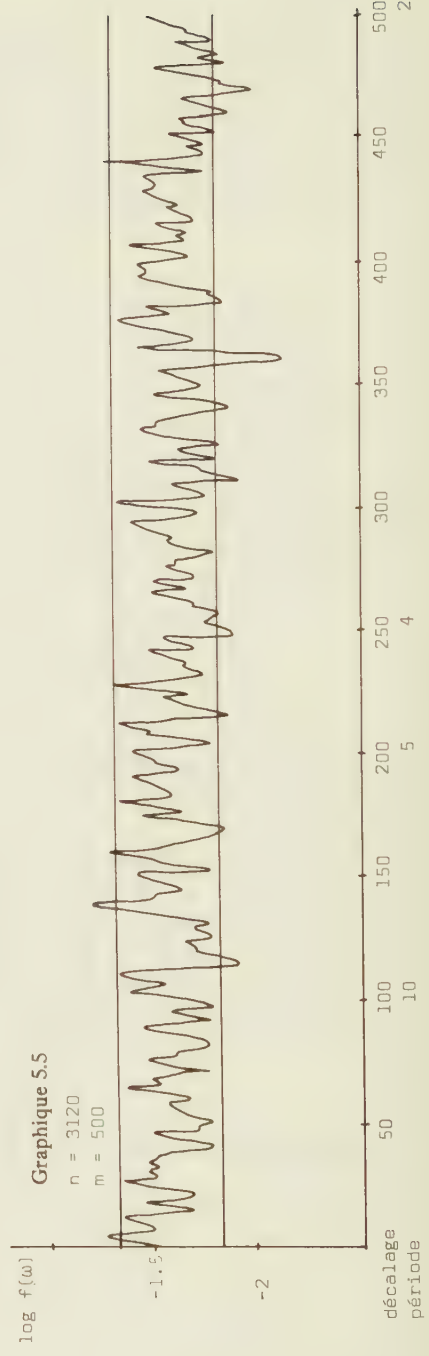
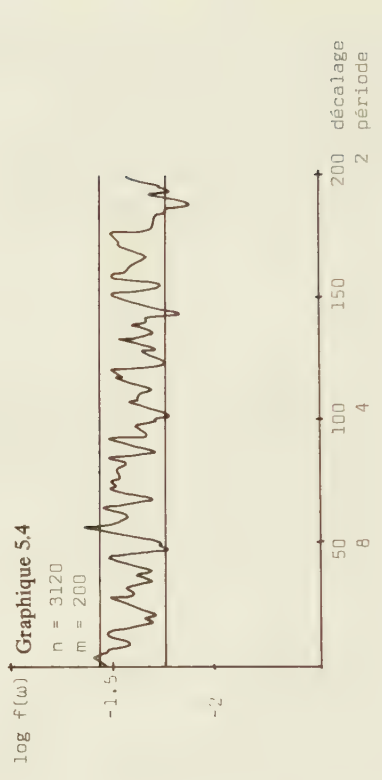
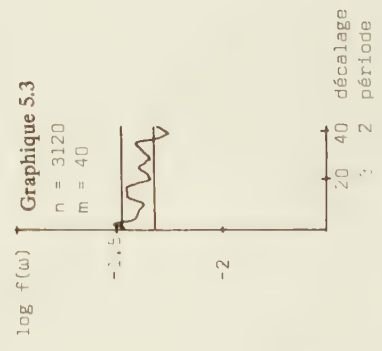
La valeur expérimentale du t (test de Student) pour le coefficient de régression α est 1.026; comparée aux valeurs théoriques de la loi de Student pour différents seuils, elle montre que le coefficient α ne diffère pas significativement de zéro.

De même pour le test de Fisher, la valeur expérimentale du F (1.05) n'est pas suffisante pour affirmer l'autocorrélation positive.

En résumé, nous n'avons détecté aucune autocorrélation dans les différences premières des cours journaliers de la bourse du cacao de New York (cotation de fin de séance pour le prochain terme naturel). Le modèle peut donc être mis sous la forme particulière $\nabla P_t = \varepsilon_t$

$$\text{et } P_t = P_{t-1} + \varepsilon_t$$

Il nous reste à déterminer les propriétés statistiques de la variable aléatoire ε_t .



5.3 Analyse de la variance et de la moyenne des variations de cours

En représentant sur un graphique les variations de cours (ordonnée) comparées à la valeur du cours correspondante (abscisse), on constate que la proportion entre les variations fortes, les variations moyennes et les variations faibles, se modifie lorsque le cours change. Cela signifie que la variance des différences premières n'est pas constante: elle dépend du cours. Un test statistique permet de vérifier cette constatation:

$$|\nabla P_t| = \beta P_{t-1} + v_t$$

où : P_t : observations de la série

$$|\nabla P_t| = |P_t - P_{t-1}|$$

v_t : variable aléatoire résiduelle

Si le coefficient β de l'équation ci-dessus diffère significativement de zéro après un ajustement par régression linéaire, il est possible d'affirmer que la variance des différences premières de la chronique des cours est fonction de la valeur du cours.

L'ajustement a été réalisé avec le même programme que celui du paragraphe 5.2.2:

$$\text{Equation de régression: } |\nabla P_t| = 0.01113 P_{t-1} + 0.02106$$

Le coefficient de corrélation vaut 0.25.

La valeur expérimentale du t (test de Student) pour le coefficient de régression β est 14.12; elle est nettement supérieure à la valeur théorique de la loi de Student au seuil de 1 %. Le coefficient β diffère donc significativement de zéro, et l'hypothèse peut être acceptée.

Nous savons maintenant que la variance des différences premières de la série est fonction de la valeur du cours, mais nous ne connaissons pas la relation. Pour la déterminer, nous avons distribué les variations de cours en classes, selon la valeur du cours auquel elles sont relatives.

Tableau 5.1

classes de cours en cents/lb	centre de la classe P_{t-1}	effectif de la classe (variations de cours)	variation moyenne de la classe ∇P_t	écart-type des variations de la classe $s_{\nabla P_t}$	intervalle d'acceptation de ∇P_t ** seuil de 5%
10 - 15 *	12.5	119	-0.0177	0.3284	(-0.059 ; +0.059)
15 - 20	17.5	301	-0.0304	0.3279	(-0.037 ; +0.037)
20 - 25	22.5	1293	-0.0065	0.3692	(-0.020 ; +0.020)
25 - 30	27.5	822	0.0087	0.3948	(-0.027 ; +0.027)
30 - 35	32.5	111	0.0192	0.6557	(-0.122 ; +0.122)
35 - 40	37.5	167	-0.0271	0.5952	(-0.090 ; +0.090)
40 - 45	42.5	134	0.0544	0.5848	(-0.099 ; +0.099)
45 - 50	47.5	7	0.1643	0.6521	(-0.483 ; +0.483)
numéro des colonnes	1	2	3	4	5

* Aucun cours n'est inférieur à 10 cents/lb

** Centré sur 0

On constate dans le tableau 5.1 que l'écart-type des variations journalières du cours augmente lorsque le cours augmente (colonnes 1 et 4). Par ajustement d'une équation de régression, il est possible de déterminer la relation entre l'écart-type des différences premières de la série et la valeur du cours (la classe 45-50 n'est pas prise en considération, car son effectif est trop petit). Le meilleur coefficient de corrélation (0.90) est obtenu pour un ajustement de type exponentiel. L'équation de régression est :

$$\hat{\sigma}_{\nabla P_t} = 0.225 \cdot 1.025^{P_{t-1}}$$

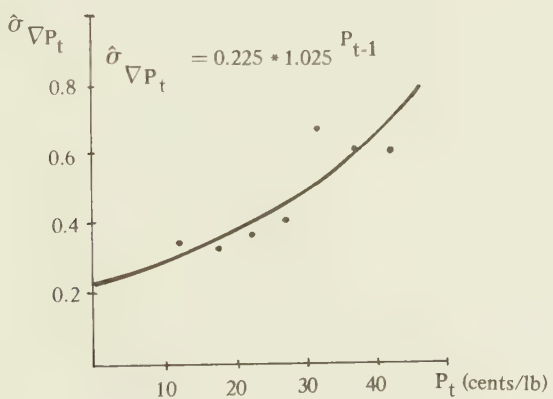
elle est représentée dans le graphique 5.4.

Il nous reste à vérifier la nullité de la variable aléatoire ε_t (variations de cours). Si l'hypothèse $\overline{\nabla P_t} = 0$ est vraie, les moyennes des échantillons formés dans chaque classe du tableau 5.1 ne doivent pas différer significativement de zéro. Nous les avons testées au seuil de 5%; l'intervalle d'acceptation de l'hypothèse (dans le cas de normalité) est donc

$$\left(0 - 1.96 \frac{s_{\nabla P_t}}{\sqrt{n}} ; 0 + 1.96 \frac{s_{\nabla P_t}}{\sqrt{n}} \right)$$

où n est la taille de l'échantillon. On constate dans le tableau 5.1 qu'aucune moyenne ne sort de l'intervalle d'acceptation (colonnes 4 et 5). On peut donc accepter l'hypothèse de nullité de la moyenne des variations journalières de cours.

Graphique 5.4



5.4 Propriétés statistiques des variations journalières du cours

Nous avons vu que les variations journalières successives du cours sont engendrées par un processus de Markow. Nous avons ensuite montré que le coefficient d'autocorrélation α ne diffère pas significativement de zéro.

$$\nabla P_t = \alpha \nabla P_{t-1} + \varepsilon_t \quad \text{d'où } P_t = P_{t-1} + \alpha (P_{t-1} - P_{t-2}) + \varepsilon_t$$

$$\text{Si } \alpha = 0 \quad \nabla P_t = \varepsilon_t \quad \text{d'où } P_t = P_{t-1} + \varepsilon_t$$

La variable aléatoire ε_t représente alors les variations journalières de cours. Nous avons montré que la moyenne de ε_t peut-être considérée comme nulle, car la moyenne des variations de cours ne diffère pas significativement de zéro. Nous avons établi ensuite une relation entre l'écart-type des variations de cours et la valeur du cours.

En admettant la normalité de ε_t , il est donc possible de simuler la marche au hasard qui prend la forme:

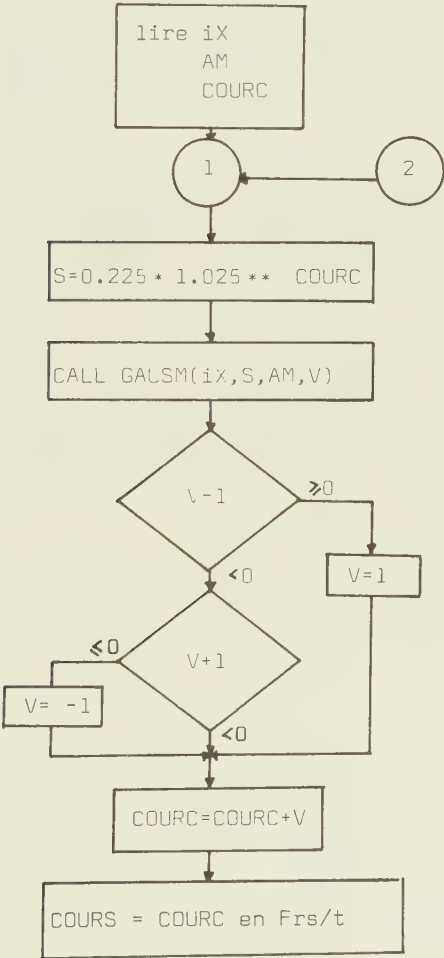
$$P_{t+1} = P_t + \varepsilon_t$$

où : ε_t est une variable aléatoire normale de moyenne nulle

$$\text{et d'écart type } \sigma = 0.225 \cdot 1.025^{P_t}$$

5.5 Simulation stochastique

Les modèles semi-adaptatif, adaptatifs sans ventes et avec ventes, tous trois munis de filtres 2 et 5%, ont été testés sur 5 chroniques simulées de 650 observations. La méthode utilisée est due à Marsaglia; elle consiste à transformer des nombres au hasard en valeurs simulées d'une variable aléatoire normale. L'instruction «lire un cours» de l'organigramme de base doit être remplacée par l'organigramme suivant:



L'ordinateur calcule lors de chaque boucle journalière l'écart-type (S) de la variation de cours, qu'il transmet, ainsi que la moyenne (AM), au sous-programme chargé de générer la valeur de la variable aléatoire normale (V). La suite de l'organigramme est consacrée à la réduction des variations simulées de cours supérieures en valeur absolue à 1, variation légale maximale (± 1 cent/lb).

Le sous-programme GAUSM calcule V de la manière suivante:

X_1 , X_2 , X_3 et X_4 sont des variables aléatoires de la loi uniforme sur (0;1).

V est une variable aléatoire normale centrée et réduite.

X_1 , X_2 , X_3 et X_4 sont générés et prennent les valeurs x_1 , x_2 , x_3 et x_4 .

V prend alors la valeur

$$V = 2(x_1 + x_2 + x_3 - 3/2) \quad \text{si } x_4 \leq 0.8863$$

$$v = 3(x_1 + x_2 - 1) / 2 \quad \text{si } x_4 > 0.8863$$

Comme v est centré et réduit, il faut le multiplier par l'écart-type et ajouter la moyenne.

$$v = v \cdot S + (AM)$$

Les graphiques 5.5 à 5.9 représentent les 5 chroniques simulées. On y retrouve les caractéristiques de la chronique historique décrites au paragraphe 3.3: tendance à de fortes pointes lorsque le cours est élevé, et à la stagnation lorsque le cours est bas; elles sont dues à la relation entre la variance de la chronique et la valeur du cours.

Le tableau 5.2 indique les PMC des modèles semi-adaptatif, sans ventes et avec ventes, tous trois munis des filtres 2 et 5%. Les résultats obtenus sont semblables à ceux de la simulation déterministe: l'ordre n'est pas modifié, sauf pour la simulation 4, dont la chronique est affectée d'un phénomène persistant de stagnation (périodes 9-21) lorsque le cours est bas, ce qui confirme nos conclusions du paragraphe 4.8.2.

Le modèle semi-adaptatif est nettement meilleur que dans la simulation déterministe (sauf pour la simulation où le cours ne devient jamais supérieur au point d'équilibre). Cela provient du choix de la chronique historique qui a été retenue parce qu'elle est particulièrement défavorable à ce modèle.

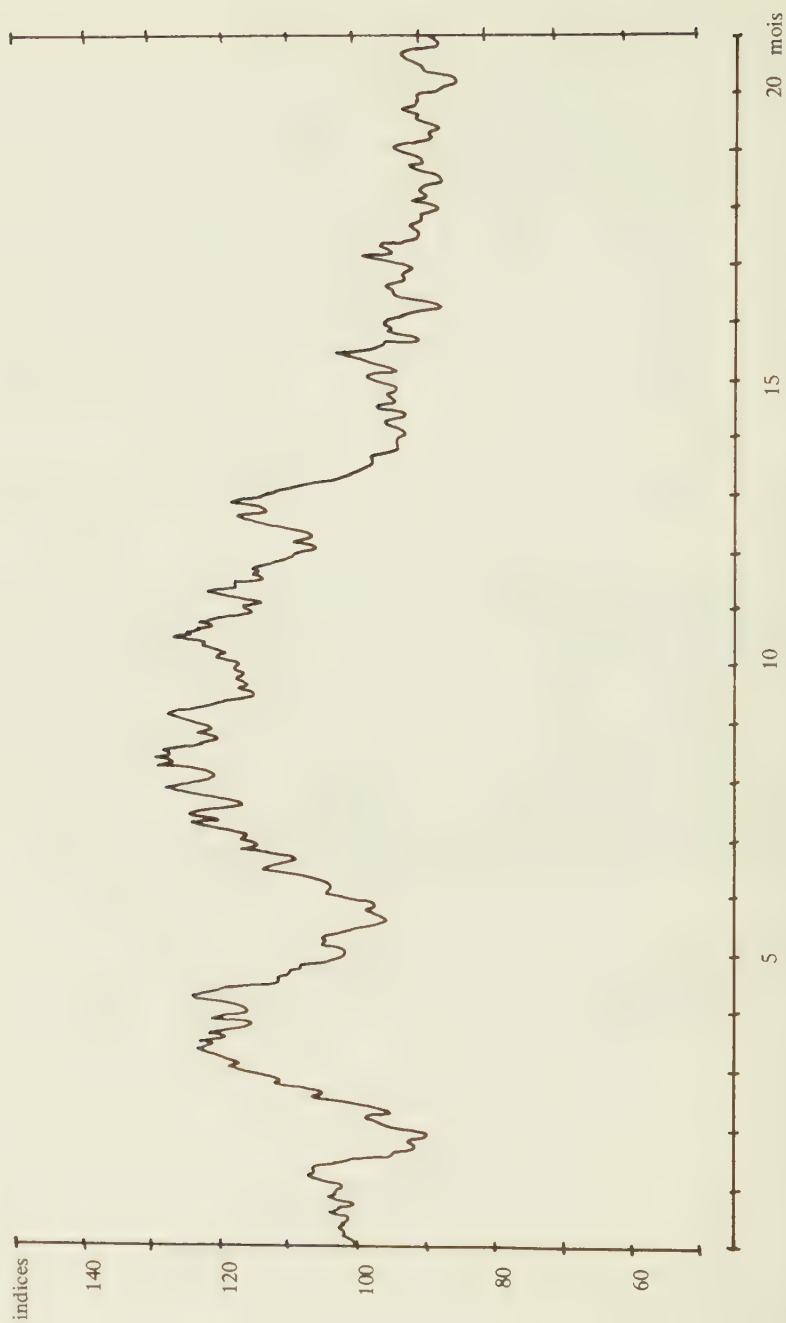
Tableau 5.2

PMC DES SIMULATIONS STOCHASTIQUES

modèles Simulation	semi-adaptatif sans ventes filtres 2 et 5 %	sans ventes filtres 2 et 5 %	avec ventes filtres 2 et 5 %
chronique 1	2702.83	2830.35	2847.85
chronique 2	2628.26	2682.50	2686.51
chronique 3	2750.73	2887.74	2899.91
chronique 4	2423.75	2423.75	2409.98
chronique 5	2738.71	2856.97	2863.58

Il nous reste à comparer les résultats du modèle avec ventes (le moins bon des trois en moyenne) à ceux du modèle de simple renouvellement. Les périodes de comparaison sont choisies de la même manière qu'au paragraphe 4.7.1, et pour les mêmes raisons (le PMS et le PMC du modèle auquel est comparé le simple renouvellement doivent être égaux). A l'exception de la simulation 4 marquée par un cours moyen très bas, qui provoque un stock moyen très élevé dans les modèles avec stock-tampon, le simple renouvellement s'est révélé nettement moins efficace. En moyenne, le PMC du modèle avec ventes est de 4 % inférieur à celui du modèle de simple renouvellement, ce qui confirme nos conclusions du paragraphe 4.7.1.

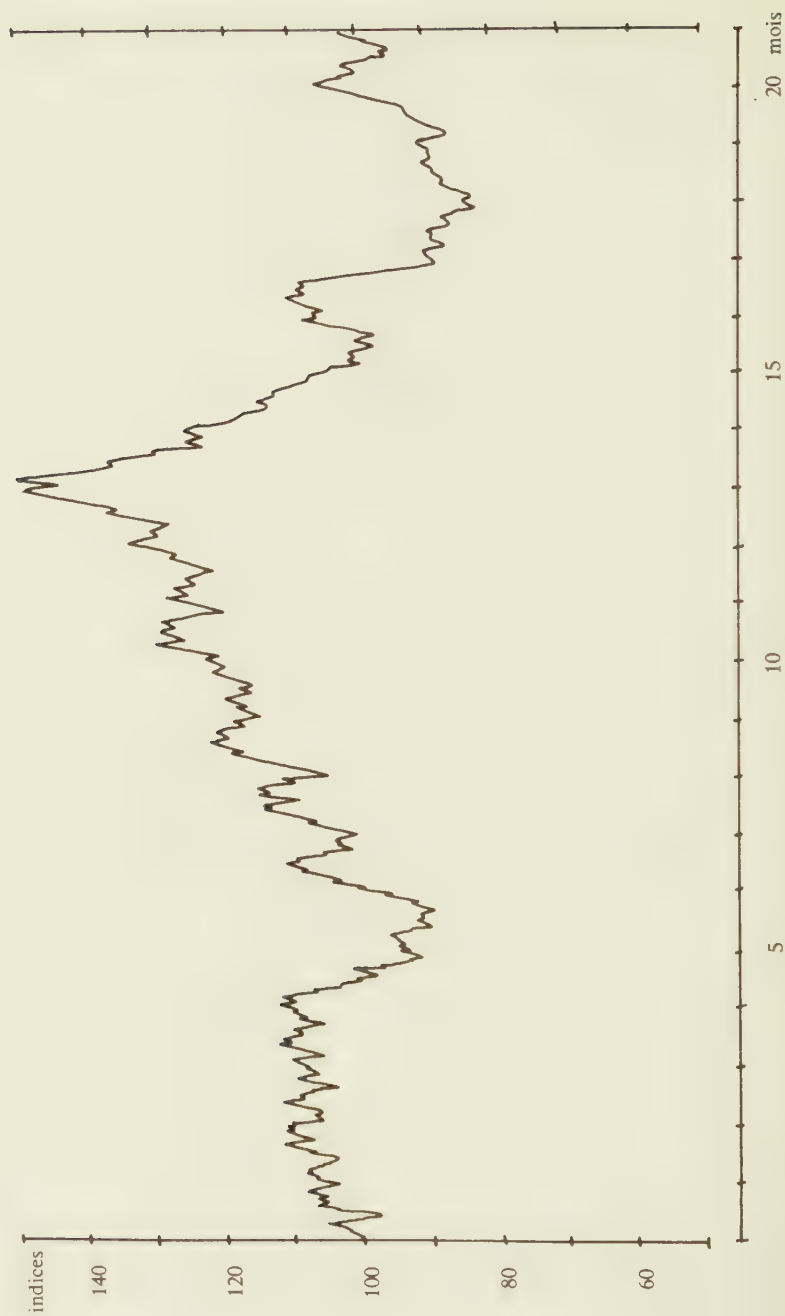
Graphique 5.5
chronique simulée 1



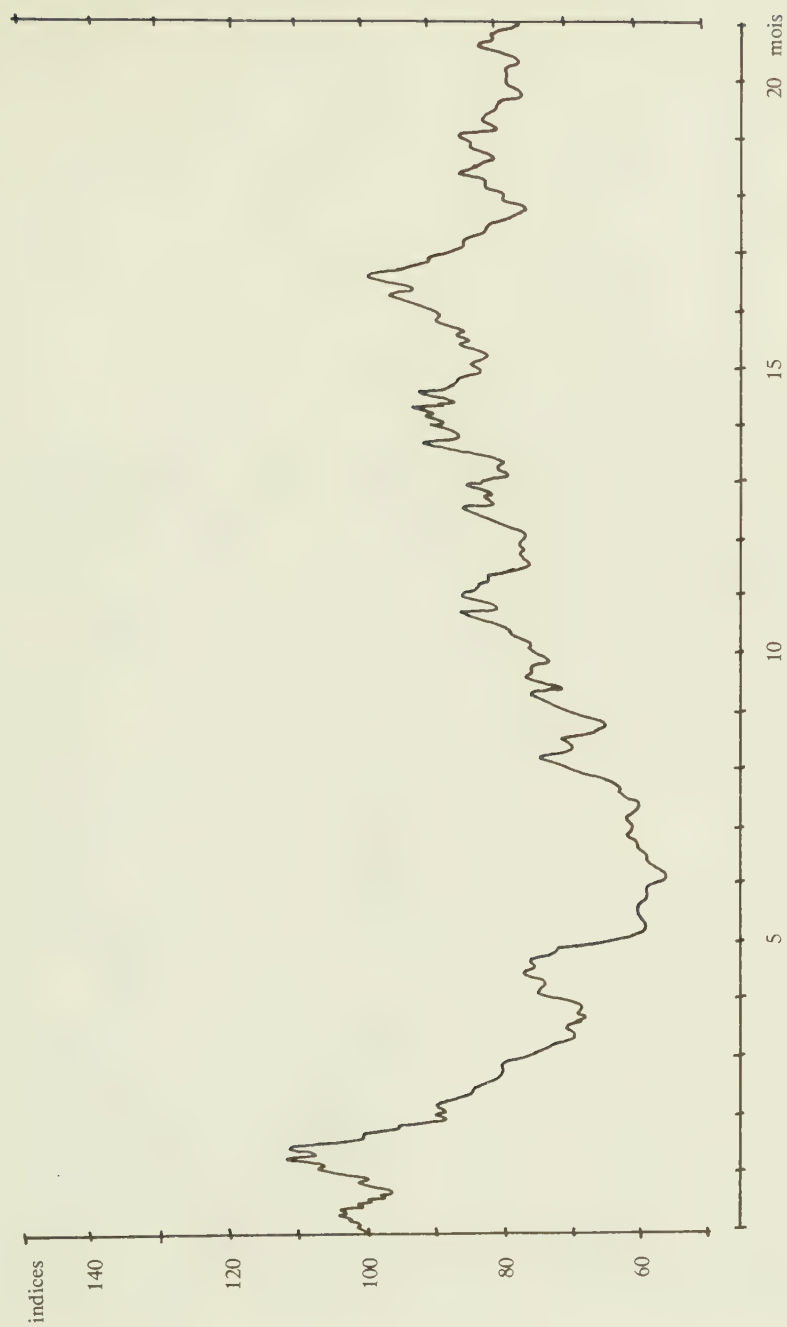
Graphique 5.6
chronique simulée 2



Graphique 5.7
chronique simulée 3



Graphique 5.8
chronique simulée 4



Graphique 5.9
chronique simulée 5



6. Conclusions

La gestion d'un stock de matières premières cotées en bourse est différente de celle d'un produit fini, car le cours est caractérisé par une composante spéculative difficile à prévoir. Plusieurs entreprises, qui utilisaient un modèle prévisionnel à court terme (économétrique ou qualitatif), l'ont abandonné après avoir constaté que la variance très élevée des erreurs de prévision provoque de fortes alternances de gains et de pertes, qui tendent à se compenser dans le long terme et n'ont d'autre effet que de perturber la croissance de l'entreprise en faisant fluctuer le taux de croissance de son cash-flow. La plupart de ces entreprises se sont alors tournées tout naturellement vers des modèles de simple renouvellement, dans lesquels la matière première est achetée au fur et à mesure des besoins estimés de la production. Ces modèles sont très simples, ne provoquent ni pertes ni bénéfices importants d'origine spéculative, mais n'atténuent pas l'influence des fluctuations de cours sur le prix de revient des produits finis.

Dans cette thèse, nous avons développé un modèle, que nous avons appelé adaptatif à défaut d'un terme consacré, et dont l'objectif est de gérer un stock-tampon qui atténue les fluctuations du prix de revient de la matière première en répartissant dans le temps l'effet des achats négociés à des cours différents. Ce modèle n'implique aucune prévision à court terme du prix de la matière première. Le stock-tampon est lié au cours par une fonction qui le fait augmenter par des achats lorsque le cours baisse, et le laisse diminuer par l'intermédiaire de la consommation lorsque le cours monte.

Nous avons montré par simulation que le modèle adaptatif est plus efficace que le simple renouvellement. Cette affirmation nécessite pourtant une restriction importante: l'élasticité de la fonction liant le stock et le cours dépend étroitement, pour un cours donné, du point d'équilibre, qui correspond à un cours théorique à long terme et dont le niveau doit être fixé par estimation. Dans la simulation déterministe, nous avons pris comme point d'équilibre celui que les responsables des approvisionnements de l'entreprise ont estimé au début de la période simulée. Aucune modification struc-

turelle du marché n'étant intervenue pendant cette période (1968 — 1971), ce point d'équilibre s'est révélé correct. Aujourd'hui, il doit être revu (augmenté) à la suite de la crise monétaire.

Le problème de l'estimation et du contrôle du point d'équilibre devrait être encore approfondi. Dans ce travail, nous l'avons provisoirement résolu par interview d'experts disposant d'une longue expérience du marché du cacao. Ce moyen pourrait être complété par d'autres méthodes, telles que modèles macro-économétriques à long terme ou techniques qualitatives utilisables pour la prévision et le contrôle. La méthode Delphi, en particulier, est très avantageuse pour les entreprises multinationales, dont les succursales bénéficient d'une certaine indépendance dans le secteur des approvisionnements, et qui disposent d'un échantillon d'experts suffisant. Elles ne sont pas confrontées au problème du biaisage des résultats imputable à ceux qui ne remplissent pas les questionnaires.

L'utilisation de la relation entre l'écart-type des variations journalières de cours et la valeur du cours ($\hat{\sigma}_{\nabla P_t} = 0.225 \cdot 1.025^{P_{t-1}}$) pourrait être un moyen

auxiliaire de contrôle du point d'équilibre: une forte augmentation du cours doit provoquer un accroissement correspondant de l'écart-type des variations journalières, qui vont se situer à la limite maximale légale de variation du cours. Si cette modification n'a pas lieu, il est probable que le marché subit un changement structurel. Cette affirmation devrait être vérifiée expérimentalement et un système de contrôle de l'écart-type des variations journalières permettrait alors de détecter les modifications structurelles du marché, particulièrement importantes dans le modèle semi-adaptatif.

Les propriétés statistiques des modèles prévisionnels à court terme ne permettent pas la comparaison avec le modèle adaptatif. Il n'existe, à notre connaissance, aucune étude publiée sur les conséquences financières de l'application de ces modèles à la gestion des matières premières d'une entreprise. Le modèle de simulation déterministe que nous avons développé permet cette démarche, qui fera l'objet d'une étude ultérieure.

Ainsi que tous les modèles, la stratégie adaptative doit être utilisée comme une aide à la décision, et non appliquée d'une manière automatique. Elle est testée depuis bientôt huit mois dans une entreprise importante et a déjà incité ses responsables à réduire le stock moyen et le nombre de transactions en bourse.

Annexe A

Programme de l'analyse spectrale

```
C      ESTIMATEUR DE PARZEN
      DIMENSION A(3120),R(1001),FOM(1001)
100    FORMAT (2I5)
101    FORMAT (15X,5F5.2)
102    FORMAT (10E12.5)
104    FORMAT (1X)
105    FORMAT (3X,E9.2)
106    FORMAT (6E12.5)
107    FORMAT (3X,E12.5)
108    FORMAT(1X)
      LC=2
      IMP=5
      READ (LC,100) N,M
C      M DUIT ETRE PAIR
      READ (LC,101) (A(I),I=1,N)
C      CALCUL DES VARIATIONS DE PRIX ET MOYENNE
      AD=A(1)
      NM1=N-1
      AMOY=0.
      S=0.
      DO 1 I=1,NM1
        A(I)=A(I+1)-AD
        IF (A(I+1))201,201,200
200    AD=A(I+1)
        AMOY=AMOY+A(I)
        GO TO 1
201    S=S+1.
1      CONTINUE
      ANM1=NM1
      AMOY=AMOY/(ANM1-S)
      WRITE (IMP,104)
      WRITE (IMP,105) AMOY
C      CALCUL DES ECARTS A LA MOYENNE
      DO 2 I=1,NM1
        A(I)=A(I)-AMOY
2      CONTINUE
C      CALCUL DES COVARIANCES
      MP1=M+1
      DO 3 K=1,MP1
        NK=NM1-K+1
        JJ=K-1
        SUM=0.
        SPROD=0.
        DO 4 J=1,NK
          JK=J+JJ
          IF (ABS(A(J))-2.) 202,202,203
202    IF (ABS(A(JK))-2.) 206,206,203
206    PROD=A(J)*A(JK)
          GO TO 4
203    SPROD=SPROD+1.
          PROD=0.
4      SUM=SUM+PROD
3      R(K)=SUM*(1/(ANM1-SPROD))
      RO=R(1)
      DO 5 K=1,M
        R(K)=R(K+1)
5      CALCUL DU SPECTRE
```

```

      FMOY=0.
      PI=3.141593
      AM=M
      EZ=6./(AM*AM)
      AZ=1./AM
      PI1=1./PI
      PI2=2./PI
      ROPI=RO/(2*PI)
      KM=M/2
      DO 6 J=1,MP1
      AJ=J
      SSOM=0.
      TSOM=0.
      EP=PI*(AJ-1.)/AM
      DO 7 K=1,M
      AK=K
      IF (K-KM) 204,204,205
204  SOM=(1.-(AK*AK*EZ)*(1.-AK*AZ))*R(K)*COS(EP*AK)
      SSOM=SSOM+SOM
      GO TO 7
205  SOM=(1.-AK*AZ)**3.*R(K)*COS(EP*AK)
      TSOM=TSOM+SGM
7      CONTINUE
      FOM(J)=ROPI+PI1*SSOM+PI2*TSOM
      FMOY=FMOY+FOM(J)
6      CONTINUE
      AMPL=MP1
      FMOY=FMOY/AMPL
      WRITE (IMP,107) FMOY
      WRITE (IMP,102) (FOM(J),J=1,MP1)
// *FIN

// XEQ LISTE      1

```

Annexe B

Programme de la simulation stochastique

```

SUBROUTINE INIP
C  DESSIN DES COURBES
COMMON NA,NM,NC
CALL SCALE (0.01,0.03700,-50.,-120.)
CALL EGRID (0,0.,-55.,31.,NA*NM)
CALL EGRID (1,0.,0.,5.,10)
CALL EGRID (3,0.,0.,5.,10)
CALL EPLUT (-2,0.,0.)
RETURN
END
SUBROUTINE DCOUR
C  DESSIN DE LA COURBE DU COURS
COMMON NA,NM,NC
Z=1.
DO 950 K2=1,NC
READ(1*K2) COURI,VSTI,CSTI,PMSI,PMCII,CSI
IF (COURI) 980,980,981
980  Z=Z+1.
GO TO 950
981  CALL EPLUT (0,Z,COURI-100.)
Z=Z+1.
950  CONTINUE
IF (COURI) 647,647,648
648  CALL ECHAR (Z,COURI-100.,0.09,0.06,0.)
WRITE (7,350)
350  FORMAT ('COURS')
647  CALL EPLUT (1,0.,0.)
CALL EPLUT (2,0.,0.)
RETURN
END
SUBROUTINE DVST
C  DESSIN DE LA COURBE DU VOLUME EN STOCK
COMMON NA,NM,NC
Z=1.
DO 951 K3=1,NC
READ(1*K3) COURI,VSTI,CSTI,PMSI,PMCII,CSI
IF (VSTI) 982,982,983
982  Z=Z+1.
GO TO 951
983  CALL EPLUT (0,Z,VSTI-100.)
Z=Z+1.
951  CONTINUE
CALL ECHAR (Z,VSTI-100.,0.09,0.06,0.)
WRITE (7,351)
351  FORMAT ('VSTI')
CALL EPLUT (1,0.,0.)
CALL EPLUT (2,0.,0.)
RETURN
END
SUBROUTINE DCST
C  DESSIN DE LA COURBE DU COUT DU STOCK
COMMON NA,NM,NC
Z=1.
DO 952 K4=1,NC
READ(1*K4) COURI,VSTI,CSTI,PMSI,PMCII,CSI
IF (CSTI)984,984,985
984  Z=Z+1.

```

```

GO TO 952
985 CALL EPL0T (0,Z,CSTI-100.)
    Z=Z+1.
952 CONTINUE
    CALL ECHAR (Z,CSTI-100.,0.09,0.06,0.)
    WRITE (7,352)
352 FORMAT ('CST')
    CALL EPL0T (1,0.,0.)
    CALL EPL0T (2,0.,0.)
    RETURN
    END
    SUBROUTINE DPMS
C    DESSIN DE LA COURBE DU PRIX MOYEN DU STOCK
    COMMON NA,NM,NC
    Z=1.
    DO 953 K5=1,NC
    READ(1*K5) COURI,VSTI,CSTI,PMSI,PMC1I,CSI
    IF (PMSI) 986,986,987
986 Z=Z+1.
    GO TO 953
987 CALL EPL0T (0,Z,PMSI-100.)
    Z=Z+1.
953 CONTINUE
    CALL ECHAR (Z,PMSI-100.,0.09,0.06,0.)
    WRITE (7,353)
353 FORMAT ('PMS')
    CALL EPL0T (1,0.,0.)
    CALL EPL0T (2,0.,0.)
    RETURN
    END
    SUBROUTINE DPMC1
C    DESSIN DE LA COURBE DU PRIX MOYEN DE LA CONSOMMATION STRATEGIE 1
    COMMON NA,NM,NC
    Z=1.
    DO 954 K6=1,NC
    READ(1*K6) COURI,VSTI,CSTI,PMSI,PMC1I,CSI
    IF (PMC1I) 988,988,989
988 Z=Z+1.
    GO TO 954
989 CALL EPL0T (0,Z,PMC1I-100.)
    Z=Z+1.
954 CONTINUE
    CALL ECHAR (Z,PMC1I-100.,0.09,0.06,0.)
    WRITE (7,354)
354 FORMAT ('PMC1')
    CALL EPL0T (1,0.,0.)
    CALL EPL0T (2,0.,0.)
    RETURN
    END
    SUBROUTINE DCS
C    DESSIN DE LA COURBE DU COUT DE STOCKAGE
    COMMON NA,NM,NC
    Z=1.
    DO 956 K8=1,NC
    READ (1*K8) COURI,VSTI,CSTI,PMSI,PMC1I,CSI
    IF (CSI) 993,993,994
993 Z=Z+1.
    GO TO 956
994 CALL EPL0T (0,Z,CSTI-100.)
    Z=Z+1.
956 CONTINUE
    CALL ECHAR (Z,CSI-100.,0.09,0.06,0.)
    WRITE (7,356)
356 FORMAT ('CS')
    CALL EPL0T (1,0.,0.)
    CALL EPL0T (2,0.,0.)

```

```

RETURN
END
SUBROUTINE RAND(IX,IY,YFL)
C   GENERATION DE NOMBRES AU HASARD
IY=IX*899
IF (IY)5,6,6
5  IY=IY+32767+1
6  YFL=IY
YFL=YFL/32767.
RETURN
END
SUBROUTINE GALSM(IX,S,AM,V)
C   METHODE DE MARSAGLIA GENERATION DE VARIABLES NORMALES
CALL RAND (IX,IY,X4)
IX=IY
IF (X4-0.8863)1,1,2
1  CALL RAND (IX,IY,X3)
IX=IY
XZ=1.5
F=2.
GO TO 3
2  XZ=1.
F=1.5
X3=0.
3  CALL RAND(IX,IY,X2)
IX=IY
CALL RAND (IX,IY,X1)
IX=IY
V=F*(X1+X2+X3-XZ)*S+AM
RETURN
END
C
C   PROGRAMME PRINCIPAL
C
C   BLOC 1
C   LECTURE DES PARAMETRES ET DES COURS
COMMON NA,NM,NC
DEFINE FILE 1 (4000,18,U,K1)
110  READ (2,110) FDATA,GDATA
100  FORMAT (2F5.0)
100  READ (2,100) NA,NM,NJ,CUNS,PEF
100  FORMAT (3I4,2F7.2)
1048  READ(2,1048) VST,PMS,ISA,IV
1048  FORMAT (2F10.2,2I5)
101  READ (2,101) IX,AM,COURC
101  FORMAT (I5,2F10.2)
NC=NA*NM*NJ
DEBUT DE LA SIMULATION
C
C
C   BLOC 2
C   INITIALISATION DE LA SIMULATION
PST=VST*PMS
L=0
NN=0
K1=1
COUR1=0.
VST1=0.
CST1=0.
CS1=0.
CG=0.
PMC1=0.
SCONS=0.
CST=PST
VC=0.
SPCS=0.

```

```

TCS=0.
CS=0.
N=1
UCG=0.
COURS=0.
TCP=0.
SCOUR=0.
PR=0.
COURM=0.

C
C
C BLOC 3
C BOUCLES ANNUELLES, MENSUELLES ET JOURNALIERES
C IMPRESSION DES TITRES ET RESULTATS MENSUELS
WRITE (5,103)
103 FORMAT (13X,'COURS',9X,'VST',9X,'PST',9X,'TCP',9X,'TCS',14X,'PMS',
19X,'PMC',7X,'COURM')
DO 2 I=1,NA
DO 2 J=1,NM
WRITE (5,104) NN,COURS,VST,PST,TCP,TCS,PMS,PMCL,COURM
104 FORMAT (15,F13.2,4F13.0,3F13.2)
NN=NN+1
DO 2 K=1,NJ

C
C
C BLOC 4
C CALCUL DE LA COUVERTURE GLOBALE
S=0.225*1.025**COURC
CALL GAUSSM(IX,S,AM,V)
IF (V-1.) 211,210,210
210 V=1.
GO TO 213
211 IF (V+1.) 212,213,213
212 V=-1.
213 COURC=COURC+V
COURC=COURC/456.6*100000.*4.1/100.
IF (COURS) 249,299,301
301 X=COURS-PEF
SCOUR=SCOUR+COURS
SL=L+1.
COURM=SCOUR/SL
SCONS=SCONS+CONS
C ISA=0 STRATEGIE NORMALE
C ISA=1 STRATEGIE SFMI-ADAPTATIVE
IF (ISA) 4000,4000,55
55 IF (COURS-PEF) 4000,4001,4001
4001 PR=PEF
IF (VST-SCONS-1035.) 4002,300,300
4002 VT=1035.-VST+SCONS
GO TO 4004
4000 DPR=(COURS-PR)*100./PR
IF (DPR) 1000,1001,1001
1000 IF (DPR+FDATA) 1002,1002,300
1002 GO TO 1003
1001 IF (DPR-GDATA) 300,1003,1003
1003 PR=COURS
C FIN DU BLOC 4.4
IF(X) 400,401,401
400 IF (X+1400.) 500,501,501
500 CG=8280.
GO TO 3
501 CG=5175./1960000.*X*X+3105.
GO TO 3
401 IF (X-2500.) 600,600,601
600 CG=(-2070.)/6250000.*X*X+3105.
GO TO 3

```

```

601 CG=1035.
3 DCG=CG-VST+SCONS
C IV=1 STRATEGIE AVEC VENTES
C IV=0 STRATEGIE SANS VENTES
IF (IV) 65,65,66
65 IF (DCG) 300,700,700
700 MULT=IFIX((DCG+12.5)/25.)
IF (MULT-1) 300,800,800
66 IF (DCG) 67,701,701
67 MULT=IFIX((DCG-12.5)/25.)
IF (MULT+1) 800,800,300
701 MULT=IFIX((DCG+12.5)/25.)
IF (MULT-1) 300,800,800
800 VT=MULT*25.
4004 PT=VT*COURS
IF (PMS) 900,900,901
900 PMS=COURS
GO TO 901
300 VT=0.
PT=0.
C
C
C BLOC 5
C SIMULATION
901 PCS=SCONS*PMS
VST=VST+VT-SCONS
PST=PST+PT-PCS
CS=PST*10./100./372.
TCS=TCS+CS
CP = ABS(VT)*4.
TCP=TCP+CP
CST=PST+TCS+CP
VC=VC+SCONS
SPCS=SPCS+PCS
PMC1=(SPCS+TCS)/VC
TCONS=SCONS
SCONS=0.
PMS=PST/VST
C INITIALISATION DES INDICES
IF (L) 960,960,961
960 COUR1=COURS
VST1=VST
CST1=CST
CS1=CS
WRITE (5,777) NN,COURS,VST,PMS,PMC1
777 FORMAT (I5,F13.2,F13.0,39X,2F13.2)
961 L=L+1
C REPRISE DU PROGRAMME
GO TO 5
299 CG=0.
DCG=0.
SCONS=SCONS+CONS
TCONS=SCONS
TCS=TCS+CS
VT=0.
PT=0.
PCS=0.
CST=CST+CS
PMS=PST/VST
C
C
C BLOC 6
C TRANSFORMATION EN INDICES
C MISE SUR DISQUE DE L'ENREGISTREMENT
5 IF (COUR1) 760,760,761
760 COUR1=0.

```

```

PMSI=0.
PMCI1=0.
GO TO 710
761  COURI=COURS*100./COUR1
    PMSI=PMS*100./COUR1
    PMCI1=PMCI*100./COUR1
710  IF (VST1) 762,762,763
762  VSTI=0.
    GO TO 711
763  VSTI=VST*100./VST1
711  IF (CST1) 764,764,765
764  CSTI=0.
    GO TO 773
765  CSTI=CST*100./CST1
773  IF (CS1) 774,774,775
774  CSI=0.
    GO TO 776
775  CSI=CS*100./CS1
776  WRITE (1,K1) COURI,VSTI,CSTI,PMSI,PMCI1,CSI
    N=N+1
C
C
C  BLOC 7.1.1
C  IMPRESSION DU DERNIER RESULTAT MENSUEL
    WRITE (5,104) NN,COURS,VST,PST,TCP,TCS,PMS,PMCI,COURM
C
C
C  BLOC 8
C  DESSIN DES COURBES
C  COURS ET VST
    CALL INIP
    PEFI=PEF*100./COUR1
    CALL EPLT (1,0.,PEFI-100.)
    CALL EPLT (-2,0.,PEFI-100.)
    CALL POINT (1)
    CALL EPLT (1,0.,0.)
    CALL EPLT (2,0.,0.)
    CALL DCOUR
    CALL DVST
    CALL EPLT (1,NC+90.,-150.)
C  COURS,PMS,PMCI
    CALL INIP
    CALL DCOUR
    CALL DPMS
    CALL DPMCI
    CALL EPLT (1,NC+90.,-150.)
    CALL EXIT
    END
// *FIN

```

Bibliographie

Seuls les ouvrages utilisés ou cités dans ce travail sont mentionnés dans la bibliographie.
Pour de plus amples renseignements, se référer à (7), (8) et (12).

- (1) Box et Jenkins
Time series analysis: Forecasting and control
Holden Day, 1970
- (2) Cootner P.
The Random Character of Stock Market Prices
M. I. T. Press, 1964
- (3) Gill and Duffus Limited
Cocoa statistics
February 1970, London
- (4) Granger C. W. J. et Hatanaka H.
Analyse spectrale des séries temporelles en économie
Dunod, 1969
- (5) Granger C. W. J. et Morgenstern O.
Predictability of Stock market prices
Heath Lexington Books, 1970
- (6) Jenkins G. et Watts D.
Spectral Analysis and its Applications
Holden-Day, 1969
- (7) Labys W. et Granger C. W. J.
Speculation, Hedging and Commodity Price Forecasts
Heath Lexington Books, 1970
- (8) Labys W.
Dynamic Commodity Models: Specification, Estimation and Simulation
Heath Lexington Books, 1973
- (9) Quinet E.
Séries temporelles et décisions économiques
Dunod 1969
- (10) Semah J., Serres C. et Tessier B.
L'Ordinateur Spéculateur
Dunod Economie, 1970
- (11) Shishko I.
Techniques of Forecasting Commodity Prices
Commodity Yearbook 1965 p. 30-41
Commodity Research Bureau, New York
- (12) Weymar H.
The Dynamics of the World Cocoa market
M. I. T. Press, 1968

Table des matières

1. Politique de l'entreprise en matière d'approvisionnements	3
1.1 Modèle de simple renouvellement du stock	5
1.2 Modèle adaptatif	6
1.3 Modèle prévisionnel	7
2. Choix du modèle et contrôle	10
3. Construction du modèle	13
3.1 Intervalle de variation du cours	13
3.2 Intervalle de variation du stock	14
3.3 Elasticité du stock par rapport au cours	14
4. Simulation déterministe du modèle	18
4.1 Hypothèses	18
4.2 Symboles	19
4.3 Organigramme	21
4.4 Description de l'organigramme	25
4.4.1 Données	25
4.4.2 Volume et prix de transaction journaliers	25
4.4.3 Prix moyen du stock et prix moyen de la consommation	26
4.4.4 Transformation des résultats en indices	27
4.5 Comparaison avec les résultats d'une entreprise	28

4.5.1 Méthode	28
4.5.2 Organigramme	30
4.5.3 Résultats graphiques.	33
4.6 Modification apportées au modèle.	35
4.6.1 Modèle sans vente.	35
4.6.2 Modèle avec filtre	36
4.6.3 Modèle semi-adaptatif	38
4.6.4 Modèle de simple renouvellement	39
4.7 Présentation des résultats	40
4.7.1 Période de 4 ans: 1968—1971	40
4.7.2 Période correspondant aux résultats connus de l'entreprise	45
4.8 Analyse des résultats	45
4.8.1 Modèle semi-adaptatif et modèle sans ventes, avec filtres 2 et 5 %.	45
4.8.2 Modèles avec et sans ventes.	49
5. Simulation stochastique.	53
5.1 Méthode	53
5.2 Coefficient d'autocorrélation	54
5.2.1 Analyse spectrale	54
5.2.2 Autorégression linéaire	65
5.3 Analyse de la variance des variations de cours	67
5.4 Propriétés statistiques des variations journalières du cours	70
5.5 Simulation stochastique	71
6. Conclusions.	79
7. Annexe A: programme d'analyse spectrale.	81
8. Annexe B: programme de la simulation stochastique	83
9. Bibliographie	89

